

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Návrh a využití diagnostických metod pro diagnostická měření
obráběcích strojů**
**Proposal and use of diagnostic methods for diagnostic
measuring machine tools**



Student:
Vedoucí Diplomové práce:

Bc. Jakub Štefek
Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Štefek**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**
Specializace: **72 Technická diagnostika, opravy a udržování**
Téma: **Návrh a využití diagnostických metod pro diagnostická měření
obráběcích strojů**
**Proposal and Use of Diagnostic Methods for Diagnostic Measuring of
Machine Tools**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Pro potřeby této diplomové práce zvolte vhodné metody technické diagnostiky a aplikujte je na obráběcí stroje. Věnujte pozornost zvláště vibrodiagnostice a tribodiagnostice. Proved'te potřebná vibrodiagnostická měření, odeberte provozní kapaliny a proved'te potřebná vyhodnocení a zpracování dat. Získaná data analyzujte a proved'te patřičné vyhodnocení a doporučení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te potřebná měření.
5. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6
- HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.
- TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.
- KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1. vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6
- HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6
- ŠAFR, E. *Tribotechnika*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 300 s. 04-243-84
- ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. ISBN 04-010-70
- KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4
- Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.
- ČSN 20 0065 *Metody měření a hodnocení mechanického kmitání-Mezní hodnoty kmitání*. Praha: Český normalizační institut, červen 1992. 16 s.
- ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

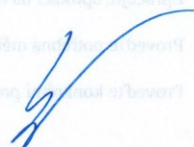
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou Diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího Diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě: 10.5.2016


.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užití (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby

V Ostravě: 10. 5. 2016



podpis

Jakub Štefek
Máchova 419
Bohumín, 735 81

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠTEFEK, J. *Návrh a využití diagnostických metod pro diagnostická měření obráběcích strojů: diplomová práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 66 s. Vedoucí práce: Blata, J

Diplomová práce se zabývá návrhem vhodných metod technické diagnostiky pro obráběcí stroje. V úvodu práce jsou popsány možnosti technické diagnostiky aplikovatelné pro dané obráběcí stroje. V další části práce jsou rozebrány jednotlivé diagnostické měření, kterými jsou termodiagnostika, vibrodiagnostika a tribodiagnostika. Následuje praktické provedení návrhu jednotlivých měření pro konkrétní stroje. Diplomová práce se zabývá pouze jednorázovým pochůzkovým měřením off – line. Závěr práce tvoří výsledky měření daných a doporučení opravy.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

ŠTEFEK, J. *Proposal and use of diagnostic methods for diagnostic measuring machine tools: Master Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2015, 66 p. Thesis head: Blata, J.

The thesis deals with a proposal of convenient method of technical diagnostics for machine tools. In the introduction of my thesis, there are described options of technical diagnostics which are applicable to the machine tools. In the next part of my thesis, there are analyses of the diagnostic measuring such as vibrodiagnostics, thermodiagnosics and tribodiagnosics. As a follow-up, there is practical execution of proposed measurements for specific machines. This thesis deals only with one-time field measuring off-line. The end of the thesis is created by the results of measuring and recommendation of a repair.

Obsah

Úvod	9
1 Tribodiagnostika obráběcích strojů	10
1.1 Odběr vzorků	10
1.2 Měření kinematické viskozity.....	11
1.3 Stanovení obsahu vody.....	12
1.4 Číslo kyselosti TAN	13
1.5 Obsah mechanických nečistot.....	14
1.6 Atomová spektrometrie	16
1.6.1 Atomová absorpční spektrometrie	16
1.6.2 Atomová emisní spektrometrie	17
2 Termodiagnostika	18
2.1 Přehled technických bezdotykových teploměrů	19
3 Vibrodiagnostika	22
3.1 Vibrační analyzátor Adash A4400	22
4 Praktické provedení měření	23
4.1 Soustruh SU 50 A/1500.....	24
4.1.1 Hlavní technické údaje soustruhu:	24
4.1.2 Údržba stroje	26
4.1.3 Mazání a mazací součásti stroje.....	26
4.1.4 Seznam ložisek	29
4.1.5 Digitální odměřovací systém ArBAH – L	30
4.2 Frézka FGS 50.....	31
4.2.1 Hlavní technické údaje frézky:	32
4.2.2 Údržba stroje	33
4.2.3 Mazání a mazací součásti frézky	34
4.2.4 Digitální odměřovací systém ArBAH – M	35
4.3 Horizontální vyvrtávačka W 100 A.....	37
4.3.1 Hlavní technické údaje vyvrtávačky:	38

4.3.2	Údržba stroje	39
4.3.3	Mazání a mazací součásti stroje.....	40
4.3.4	Digitální odměřovací systém Heidenhain Positip 880.....	41
5	Diagnostika Horizontální vyvrtávačky W 100A	42
5.1	Vibrodiagnostika.....	42
5.2	Termodiagnostika.....	47
5.3	Tribodiagnostika.....	48
6	Diagnostika Portálové frézky FGS 50	50
6.1	Vibrodiagnostika.....	50
6.2	Termodiagnostika.....	55
6.3	Tribodiagnostika.....	56
7	Diagnostika soustruhu SU 50A / 1500	57
7.1	Vibrodiagnostika.....	57
7.2	Tribodiagnostika.....	60
8	Závěr	62
9	Seznam použité literatury	63
10	Seznam příloh	66

Seznam použitého označení a zkratek

a.s.	-	akciová společnost
apod.	-	a podobně
tzn.	-	to znamená
tab.	-	tabulka
ot	-	otáčky
min	-	minuta
ČSN	-	česká státní norma
TAN	-	total acid number
ISO	-	mezinárodní norma
FPA	-	ohniskové pole
IR	-	infračervené pole

Značka	Veličina	Jednotka
t	čas	s
θ	Fahrenheitova teplota	°F
T	Kelvinova teplota	K
v_{RMS}	efektivní hodnota rychlosti	mm/s
a_{RMS}	efektivní hodnota zrychlení	g

Úvod

Dnešní doba nutí podniky co nejvíce minimalizovat náklady na výrobu. Jedním z takovýchto nevyhnutelným nákladem je porucha stroje. Právě proto nastupuje technická diagnostika, která pomáhá predikovat čas poruchy a tím i minimalizovat nutné náklady na neplánovanou opravu a dlouhosáhlou odstávku stroje. Pojem technická diagnostika skrývá tři hlavní pojmy: proaktivnost, preventivnost a prediktivnost, které se provádí na strojních zařízeních a kladou si za cíl minimalizovat náklady pro chod stroje a maximalizovat životnost stroje. Tato diplomová práce se zabývá začleněním technické diagnostiky pro staré obráběcí stroje po generální opravě v podniku KADAMO a.s. Očekává se, že nasazením technické diagnostiky bude prodloužen interval mezi opravami a nebude docházet k žádným neplánovaným poruchám. Firma bude muset zhodnotit náklady na pořízení vlastních diagnostických přístrojů a zaškolení odborné osoby. V dnešní době je celá škála firem, které se zabývají pochůzkovým měřením, tudíž není nutnost kupovat přístroje. Externí firma bude měřit buď v jednorázově, nebo v pravidelných intervalech. Je však jasné, že zaplatit takovou firmu není nikterak levnou záležitostí.

Cílem této diplomové práce je navrhnout vhodné diagnostické měření pro obráběcí stroje a s tím i vhodné měřicí body, měřicí podmínky jako je například hluk a teplota v obrobě apod. Dalším bodem je zhodnotit celkový technický stav soustruhu SU 50 A, horizontální vyvrtávačky W 100 A a konzolové frézky FGS 50. Pro tyto stroje bude aplikována termodiagnostika, vibrodiagnostika a tribodiagnostika. Stroje budou hodnoceny na základě výsledků při spuštěných maximálních otáčkách. Závěrem práce je případné doporučení na výměnu vadných částí strojů.

1 Tribodiagnostika obráběcích strojů

Pro tuto kapitolu a podkapitoly jsem čerpal z literatury [2], [3], [4], [10], [11], [12], [14], [16], [17], [18], [23]

Tribodiagnostika je bezdemontážní metoda technické diagnostiky, která je prováděna z odebraného vzorku oleje. Tribodiagnostika stanoví technický stav strojního zařízení, které ještě nejeví známky negativního chování. Tribodiagnostika zajišťuje spolehlivý chod stroje a umožňuje tvorbu harmonogramu oprav. Vhodnou volbou a aplikací oleje lze náklady snížit na minimum. Díky tribodiagnostice se oleje udržují v čistém a nedegradovaném stavu.

K určení celkového stavu obráběcích strojů by měly být použity tyto zkoušky:

- Měření kinematické viskozity
- Obsah vody
- Číslo kyselosti TAN
- Obsah mechanických nečistot
- Atomová absorpční spektrometrie

Zkoušky by měly být prováděny čtvrtletně. Vzhledem k technickému stavu prvotnímu nasazení tribodiagnostiky je dostačující zkoušky vykonávat pololetně.

1.1 Odběr vzorků

- Vzorek musí reprezentovat celou olejovou náplň
- Vzorek po odebrání nesmí být kontaminován nečistotami
- Správná identifikace vzorku (název stroje, použití, mazací místo, datum odběru, obchodní název oleje, doba použití).
- Vzorkovnice jsou z polyetylenu. Obsah vzorkovnice činí 500 ml, které je zcela naplněna olejem. Množství oleje závisí na prováděných zkouškách. Obvykle je dostačující 250 ml. Speciální analýzy vyžadují i několik litrů vzorku.
- Odběr oleje se provádí při provozu stroje nebo těsně po ukončení provozu.
- Vzorkovnice pro hydraulický olej k určení kódu čistoty by měly být vypláchnuty jemně filtrovaným těkavým rozpouštědlem (např. petroléter) a do odběru uzavřeny. Páry ze zbytku rozpouštědla vytvoří ve vzorkovnici přetlak, který zabrání znečištění vzorkovnice prachem z okolního prostředí.

1.2 Měření kinematické viskozity

Viskozita je odvozená fyzikální veličina, která udává vnitřní tření tekutin při pohybu. Projevuje se jako odpor proti pohybu těles, které se snaží posunout její nejmenší částice. Viskozita charakterizuje vnitřní tření kapaliny a je především ovlivněna působícími silami mezi částicemi kapaliny. Platí čím větší přilnavá síla mezi částicemi, tím větší viskozita a tím i větší odpor proti pohybu. U olejů a kapalin určených pro strojní zařízení je viskozita hlavním údajem. U příliš nízké viskozity dochází k meznímu, suchému tření, které má za následek nadměrné opotřebení. Naopak u příliš vysoké viskozity dochází ke ztrátám energie z důvodu vysokého tření. Kvůli vysoké viskozitě může dojít k nedostatečnému vniknutí oleje do mazacího místa, kde dojde k suchému tření a následnému nadměrnému opotřebení.

Ubbelohdeho průtokový kapilární viskozimetr

Odebrané vzorky olejů budou měřeny v laboratoři VŠB-TU Ostrava, která využívá k měření viskozity Ubbelohdeho viskozimetr. Základem principu je proudící kapalina malou rychlostí úzkou kapilárou. Rozdělení vektoru rychlosti musí být parabolické a proudění laminární. Výrobce viskozimetru udává ke každému vyrobenému kusu Ubbelohdeho viskozimetru kalibrační protokol s uvedením rozsahu pro jaké je viskozimetr vhodný a konstanty pro výpočet kinematické viskozity.

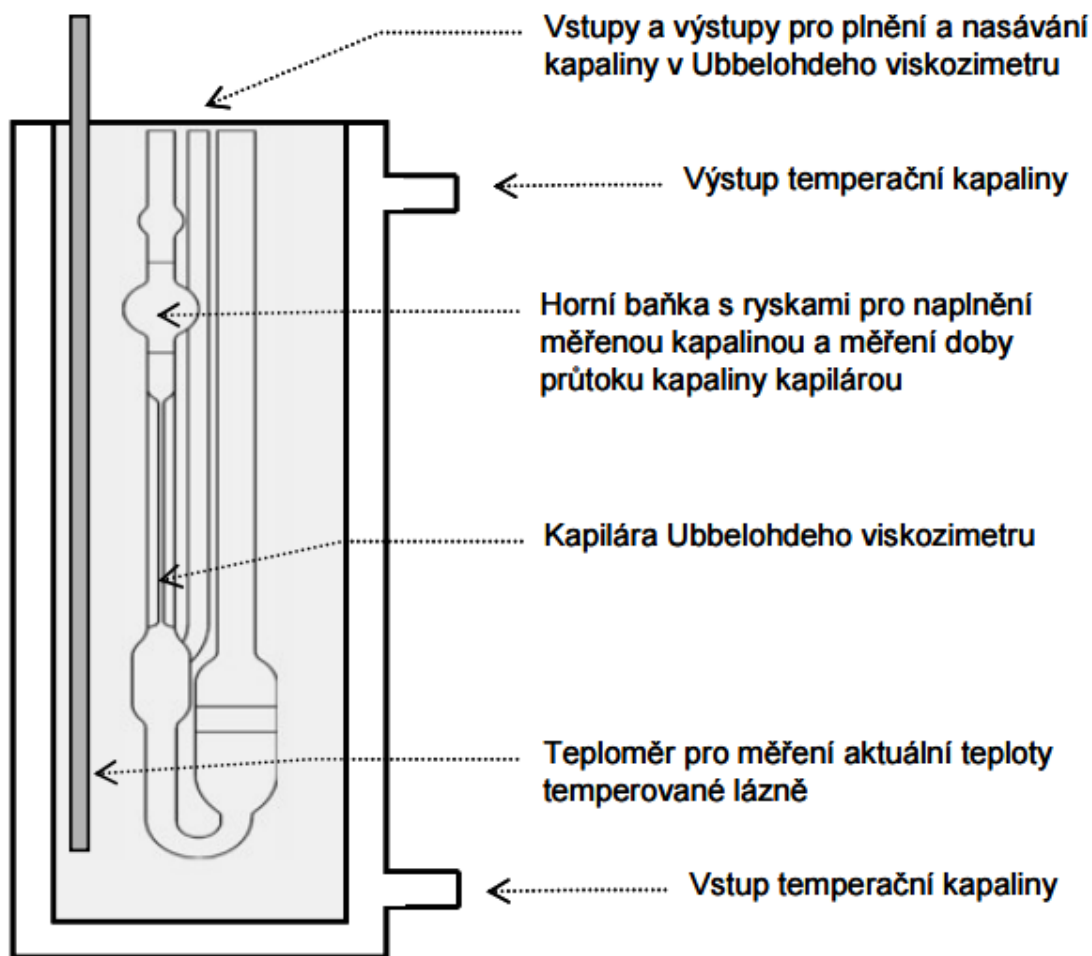
Viskozimetr je ponořen do nádoby s temperační lázni o dané teplotě hlídané termostatem. Jelikož se ve všech případech jedná o převodový olej je teplota nastavena na 40°C. Tento způsob měření dosahuje přesnosti 1%.

Vztah pro výpočet kinematické viskozity:

$$\nu = A \cdot t \text{ [m}^2\text{.s}^{-1}\text{]}$$

Kde: A – konstanta viskozimetru udávána výrobcem

t – měřený čas průtoku kapaliny mezi ryskami viskozimetru [s]



Obr. č. 1.1 – Ubbelohdeho kapilární viskozimetr v temperační lázni [12]

1.3 Stanovení obsahu vody

Analytické stanovení vody se nejčastěji provádí titrací pomocí Karla Fishera. Voda reaguje s jódem a dalšími složky roztoku stechiometricky, takže stanovení lze převést na velmi přesnou coulometrickou metodu s elektrochemickou generací titračního měřidla. 1 mol vody spotřebuje 1 mol jódu a dojde k přenesení náboje odpovídajícímu 1 molu elektronů. Vzorek se vnese do titrační nádoby s roztokem činidla, které obsahuje jodit, alkohol, vhodný amín, oxid siřitý a další rozpouštědla popřípadě aditiva. Složení roztoku se může lišit a to podle konstrukce coulometrické nádoby nebo podle chemického složení stanovované látky. Průběh měření je závislý na koncentraci jódu v nádobce. Coulometrická metoda je vhodná pro stanovení malých až stopových množství vody.



Obr. č. 1.2 – Coulometer [13]

Přístroj je jednoúčelový automatický titrátor (obr. č.1.2). Titrátor je řízen mikroprocesorem a veškeré jeho funkce jsou automatizovány. Coulometr má vestavěnou tiskárnu a titrační buňku s generátorem elektrody a membránou pro stanovení obsahu vody až do stopového množství. Tento coulometr se díky své spolehlivosti a přesnosti stal nepostradatelným v mnoha laboratořích. Doporučený rozsah měření je od 10 mikrogramů až po 200 miligramů absolutní vody.

1.4 Číslo kyselosti TAN

Stanovení kyselosti TAN (Total Acid Number – celkové číslo kyselosti) se provádí v laboratoři titračně. Pro stanovení je ke vzorku oleje rozpuštěného v neutrálním rozpouštědle po kapkách přidáván roztok hydroxidu draselného a sleduje se okamžik, kdy olej přestane vykazovat kyselé vlastnosti a převáží naopak alkalické vlastnosti díky přidanému hydroxidu. Detekce se provádí dvěma způsoby:

- Podle barevného indikátoru
- Potenciometrickou titrací

Měření podle barevného indikátoru se provádí rozpuštěním indikátoru v roztoku oleji. Při přechodu z kyselého do alkalického prostředí indikátor změní barvu. Tento způsob je zastaralý a poměrně nevhodný při zjišťování kyselosti olejů, protože díky jejich tmavé barvě lze velmi těžko určit změnu barvy indikátoru. Nynější metody jsou založeny na

detekci elektrochemických vlastností oleje, nejčastěji se jedná o potenciometrickou titraci. Z množství přidaného hydroxidu se určí hodnota TAN.



Obr. č. 1.3 – Automatický titrátor k potenciometrickému stanovení TAN a TBN [14]

1.5 Obsah mechanických nečistot

Pro určení mechanických nečistot v provozních kapalinách se využívá řada norem. Laboratoře podle druhu olejů a strojů využívá jednotlivých metod tak, aby obraz o skutečném stavu byl objektivní a průkazný. Mezi nejčastěji používané normy patří:

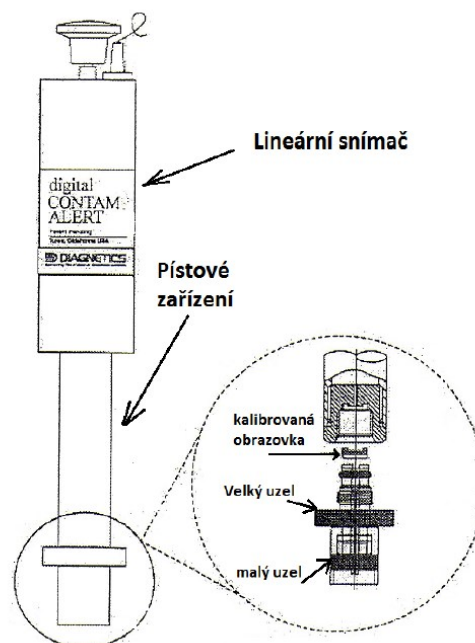
- ČSN 65 6080 Stanovení mechanických nečistot filtrací
- ČSN 65 6219 Stanovení obsahu mechanických nečistot v ropných výrobcích filtrací

- ČSN 65 6220 Stanovení obsahu mechanických nečistot na membránovém filtru
- ISO 11218 – NAS 1638 Klasifikace Čistoty hydraulických kapalin

Přístroj PCM

K určení koncentrace částic určitých velikostí ve vzorku oleje senzor používá princip rozkladového toku. Jakmile olej vstupuje do prostor senzoru, je rychlost oleje měřena v malých intervalech. Píst se pohybuje jako odezva na vnikání oleje do oblasti vstupního otvoru. Tak jak olej vstupuje do soustavy, je píst vytlačován. Díky nečistotám obsažených v oleji, které ucpávají póry v senzorovém sítku, je rychlost toku oleje snižována. Rozšiřování a shromažďování částic rozdílných velikostí generuje odlišné křivky rozkladového toku. Zatímco PCM (Obr. č.14) monitoruje pohyb pístu, kontroluje zároveň má-li dostatek dat k započetí analyzování a vrací reprezentativní počet částic.

Tento postup nepotřebuje ředění tekutiny a není ovlivněn přítomností nepevných částí jako např.: voda, vzduch nebo karbonizačním zbytkem. Díky tomu může přístroj dCA měřit úroveň znečištění pevných částí nejen v oleji. dCA disponuje mobilností, jednoduchostí a vysokou přesností výsledku. Vyhodnocení je okamžité.



Obr. č. 1.4 – Přístroj PCM [16]

1.6 Atomová spektrometrie

1.6.1 Atomová absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) slouží ke stanovení kovových prvků v oleji. Je to optická metoda, která využívá princip absorpci záření volnými atomy, které vznikají v atomizátoru. Tyto volné atomy absorbují fotony určité energie o určité vlnové délce. Energetická hodnota fotonů je charakteristická pro určitý druh atomů a počet absorbovaných fotonů je mírou množství stanovených atomů. AAS je relativní metodou, kdy hodnoty absorpce odpovídající standardním roztokům o známé koncentraci a jsou porovnávány s hodnotami absorpce zjištěné u vzorku.

K měření je zapotřebí generování volných atomů ve vzorku k čemuž se používá atomizér, který je nejčastěji typu plamenový nebo elektrotermický. U plamenového atomizéru je nejprve vzorek zmlžován a vzniklý aerosol je potom zaveden do plamene. Elektrotermická atomizace (ETA) dosahuje větší citlivosti. U ETA se nejčastěji používá grafitová trubice. Po vnesení vzorku do atomizéru je vzorek teplotně zpracován. Tento proces se rozděluje na čtyři základní fáze. První fází je sušení, u které dochází k odstranění rozpouštědla ve vzorku. Druhou fází je termická úprava, kdy dochází k odstranění matrice vzorku. Další fází se samotná atomizace, při které dochází k vytváření volných atomů. V poslední fázi je vzorek spálen a inertním plynem vyfouknut z atomizéru.

Přístroj, který využívá tohoto jevu, se nazývá atomový absorpční spektrometr a skládá se ze tří základních částí – zdroj atomizace, optický systém, řídicí a vyhodnocovací jednotka. Atomová absorpční spektrometrie je jedna ze základních metod pro výzkum prvkového složení olejů.

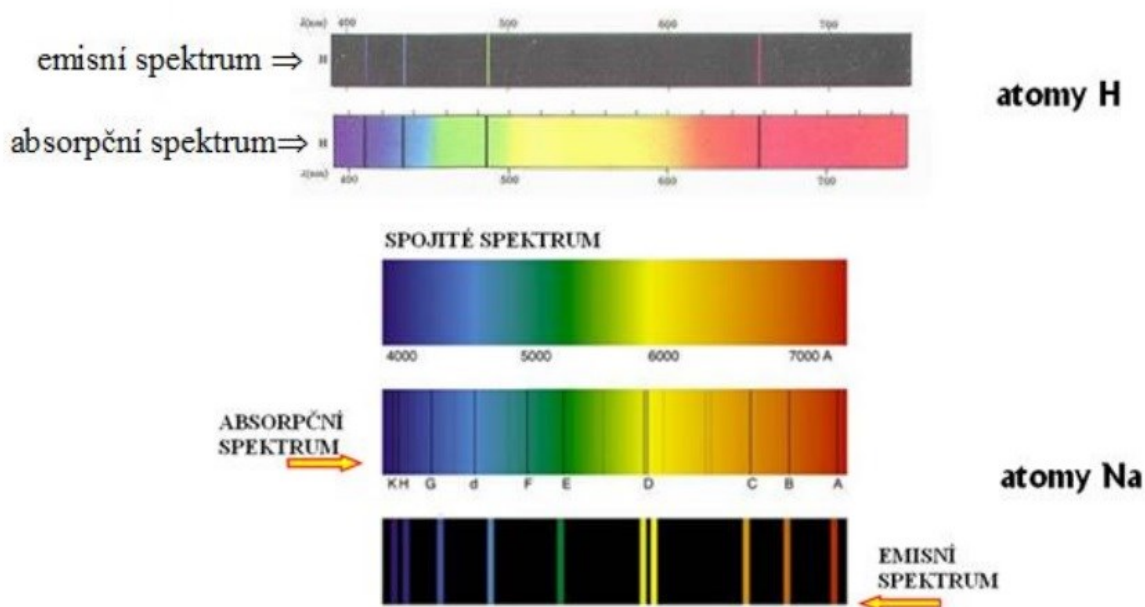


Obr. č.1.5 – Atomový absorpční spektrometr Agilent 240FS/GTA120–plamen+kyveta [19]

1.6.2 Atomová emisní spektrometrie

Atomová emisní spektrometrie (AES) je metoda na stanovení koncentrace prvku v látce měřením intenzity jedné z emisních čar atomové páry prvku generované z látky. Stanovení se provádí při vlnové délce odpovídající této emisní čáře.

Zkoumaný vzorek je dodáním energie (působíme na něj vysokou teplotou) rozložen na volné atomy, atomární ionty a ty jsou převedeny do vzbuzeného stavu. Při přechodu těchto částic do energeticky nižších stavů, částice vyzařují elektromagnetické záření při vlnových délkách, které jsou charakteristické pro jednotlivé prvky. Vzniklé nespojitě záření o různých vlnových délkách je optickým zářením rozloženo na paprsky jednotlivých vlnových délek – čárové spektrum. Detektor měří intenzitu záření na různých vlnových délkách (spektrum). Podle intenzity záření při vlnové délce charakteristické pro sledovaný prvek určíme koncentraci tohoto prvku ve vzorku – kvantita. Podle vlnových délek, při nichž bylo vyzařováno (poloh čar ve spektru) zjistíme, které prvky jsou ve vzorku – kvalita.



Obr. č. 1.6 – Spektrum atomové emisní spektrometrie [23]

2 Termodiagnostika

Pro tuto kapitolu a podkapitoly jsem čerpal z literatury [1], [2], [5], [20]

Termodiagnostika patří mezi nedestruktivní metody technické diagnostiky. Monitoruje technický stav objektu během provozu, případně teploty materiálu objektu. Je založená na zobrazení a vyhodnocení teplotního pole povrchu zkoumaného objektu. Při snímání teploty může být použito dotykových nebo bezdotykových metod. U dotykového způsobu se pro získání teplotního pole používá jako indikátor tekuté krystaly spolu se záznamem CCD kamerou. U bezdotykového způsobu se měření povrchu provádí za pomoci termografických kamer využívajících infračerveného spektra elektromagnetického záření v oblasti vlnových délek od 0,4 μm do 25 μm vyzařované povrchem tělesa.

Teplota

Teplota je stavová veličina, která patří mezi nejdůležitější termodynamické vlastnosti určující stav hmoty. Patří mezi základní fyzikální veličiny mezinárodní soustavy SI s jednotkou kelvin. Teplota představuje míru kinematické energie, se kterou se atomy a molekuly pohybují. Tento pohyb ustává při dosažení absolutní teplotní nuly.

Teplotní stupnice byla odvozena pomocí termodynamických zákonů. Základní jednotkou termodynamické stupnice je kelvin a definuje se jako 273,15-tý díl termodynamické teploty trojného bodu vody, který představuje rovnovážný stav všech třech skupenství vody. V termodynamické stupnici má teplota trojného bodu hodnotu $T = 273,15\text{K}$. Dále nejčastěji rozlišujeme Celsiovu teplotu, která má jednotku stupeň celsia a přepočít na termodynamickou teplotu je dán vztahem:

$$T (^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

U Fahrenheitovy stupnice:

$$\vartheta = \left(\frac{9}{5}\right)t + 32 [^{\circ}\text{F}]$$

Kde:

ϑ Fahrenheitova teplota, [$^{\circ}\text{F}$]

t Celsiova teplota, [$^{\circ}\text{C}$]

Teplota je nepřímě měřenou veličinou. Pro určení teploty se využívá závislosti vhodně zvolených fyzikálních veličin na teplotě. Mezi tyto teplotně závislé veličiny patří nejčastěji délkové rozměry a objem pevných a kapalných těles, tlak plynů, elektrický odpor vodičů nebo polovodičů a elektrometrické napětí termoelektrických článků. Lze také využít vlastností elektromagnetických vln vyzařovaných tělesem.

2.1 Přehled technických bezdotykových teploměrů

Tab. č. 2.1 - přehled teploměrů [převzato z literatury 5]

Typ teploměru	Fyzikální princip	Teplotní rozsah [°C]
Širokopásmové pyrometry	Zachycení celého spektra tepelného záření	-40 5000
Úzkopásmové pyrometry	Zachycení úzkého svazku záření	-40 3000
Poměrové pyrometry	Srovnání dvou svazků tepelného záření o různých vlnových délkách	700 3000
IR termokamera	Snímání teplotního pole tělesa	-30 2000

Širokopásmový pyrometr

Tyto teploměry patří mezi nejjednodušší, nejlevnější a teoreticky vyhodnocující tepelné záření emitované měřeným objektem v celém rozsahu spektra vlnových délek. Omezení zde představuje absorpční schopnost tepelného detektoru a propustnost/odrazivost optiky/zrcadel. K vyhodnocení teploty se používá Stefan Boltzmannův zákon.

Úzkopásmový pyrometr

Tyto pyrometry patří dnes k nejrozšířenějším pyrometrům s fotoelektrickým detektorem používaných v technické praxi. Pracuje pouze s úzkým pásmem vlnových délek. Obvykle tyto pyrometry používají pásmo menší než 1 μm . Oblast vlnových délek, ve kterých úzkopásmový pyrometr pracuje, je dána speciální citlivostí kvantového detektoru, spektrální prostupností optiky a interferenčních filtrů pro omezení odezvy jen na určitou vlnovou délku.

Poměrový pyrometr

Pracuje na principu poměru dvou paprsků (vlnových délek) záření z měřeného objektu o různých vlnových délkách. Záření z měřeného objektu je nasměřováno pomocí optického systému přes polopropustný filtr na kvantový detektor. Polopropustný filtr obvykle propustí záření o dvou vlnových délkách. Dnešní pyrometry využívají i více než dva paprsky. (např. 4 paprsky, 7 paprsků)

IR termokamera

U společnosti KADAMO, a.s. bude nasazena ke zjištění teploty obráběcích strojů IR termokamera. Toto zařízení zkoumá teplotní pole měřeného objektu. Na základě toho lze lokalizovat opotřebení součástek, materiálové vady, stav izolátorů za provozu, stav vypínačů, vyzdívek hutních pecí apod.



Obr. č. 2.1 – Ukázka IR termokamer [21]

IR termokamera můžeme rozdělit dle způsobu rozkladu na:

- IR termokamera s maticovým detektorem
- IR termokamera s opticko-mechanickým rozkladem obrazu,

U termokamery s maticovým detektorem se využívají mikrobolometrické (chlazené, nechlazené) detektory nebo kvantové FPA detektory, které se podobají CCD čipům používaným v klasických kamerových systémech. Každý jednotlivý pixel termogramu odpovídá jednomu detektoru. Termokamera využitá pro měření využívá dlouhovlnné (8 μm až 14 μm) pásmo vlnových délek.

K zobrazení teplotního pole u termokamery s opticko-mechanickým rozkladem obrazu je snímání jednotlivých bodů měřeného objektu realizované pomocí řízené optické osy, kdy se okamžité zorné pole termokamery změřuje postupně na všechny body měřeného objektu pomocí pohyblivých hranolů nebo zrcadel. Tato termokamera se v praxi v dnešní době již moc nevyužívá.

Výhody a nevýhody termokamer:

Výhody

- Možnost měřit a zpracovat celé povrchy těles
- Měřicí technika neovlivňuje měřený objekt
- Lze měřit pohybující se objekty
- Lze měřit velmi rychlé změny teploty
- Měření je prováděno z bezpečné vzdálenosti
- Možnost měření velmi vysoké teploty

Nevýhody

- Měří se pouze povrchová teplota
- Měřený objekt musí být opticky viditelný
- Znalost emisivity měřeného povrchu, korekce okolního prostředí, propustnost mezi měřeným objektem a termokamerou (nejistota měření)

3 Vibrodiagnostika

K hlavnímu vyhodnocení obráběcích strojů bude využito vibrodiagnostiky. Měřené stroje budou měřeny systémem Adash. Horizontální vyvrtávačka a konzolová frézka budou měřeny pouze okrajově tj. při maximálních otáčkách. Zatím co soustruh SU50A/1500 bude měřen a vyhodnocován s postupně se zvyšujícími otáčky a více měřících bodech.

3.1 Vibrační analyzátor Adash A4400

Pro tuto podkapitolu jsem čerpal z literatury [22]

Tento vibrometr byl použit k měření strojů na obráběcí dílně. Adash AA 4400 disponuje několika funkcemi jako např. analyzátor, datakolektor – při pochůzkovém měření vibrací, měření rozběhů/doběhů, záznam signálu, provozní vyvažování strojů, stereoskop, kontrola mazání. Ve snaze k nejlepšímu vyhodnocení obráběcích strojů byla využita funkce datakolektor a následné vyhodnocení bylo provedeno v softwaru adash A4410 virtual unit.

Analyzátor disponuje několika vstupy, které jsou umístěny na horní straně. Vstupy označené jako IN1, IN2, IN3, IN4 jsou používány pro střídavé a stejnosměrné signály. Vstup označený TRIG slouží pro spouštěcí signál, obvykle je to otáčková sonda. Všechny zásuvky mají několik pinů, které umožňují připojit více signálů najednou do jednoho vstupního konektoru. Ve střídavých vstupech lze měřit napětí $\pm 12V$ (peak to peak). Ve stejnosměrných vstupech lze měřit napětí $\pm 24V$. Jako vstup pro sluchátka slouží 3,5 jack konektor. Pro přenos dat mezi počítačem a analyzátozem slouží 2 USB vstupy/výstupy.



Obr. č. 3.1 – vstupy analyzátoru Adash A4400 – VA4Pro [22]

4 Praktické provedení měření

Pro tuto kapitolu a podkapitoly jsem čerpal z literatury [6], [7], [8]

Obráběcí dílna firmy obsahuje celkem šest kusů obráběcích strojů. Jedná se o horizontální vyvrtávačku WA 100, frézku FGS 50, soustruh SU 50 A, soustruh SU 18, obrážku a brusku. Všechny tyto stroje jsou využívány pro výrobu.

V dnešní době je kladen důraz na přesnost výroby, tudíž se musí většina svařovaných ocelových konstrukcí obrábět. Přestože je dostatek obráběcích strojů, jedná se o klasické ruční ovládání, které je napojeno na digitální odměřovací systémy. Pro tyto klasické stroje je nedostatek obráběčů a firma se potýká s problémem najít zkušené zaměstnance pro obsluhu těchto strojů.

Firma se snaží veškeré zakázky obrábět ve své obrobně, ale některé konstrukce jsou natolik velké a těžké, že stroje nestačí a posílají se do kooperace. S kooperací spolupracují i kvůli vytíženosti strojů. Nároky zákazníků na přesnost výroby je velká a proto v regionu vzniklo značná spousta firem zabývajících se čistě obráběním.

Strojní arsenál se měl rozšiřovat o další horizontální vyvrtávačku, tentokrát o WA 130, která by pokryla veškeré nároky na velikost výroby. Ovšem pořizovací cena a pracovní doba nestačila k návratnosti investice.



Obr. č. 4.1 Obráběcí dílna

4.1 Soustruh SU 50 A/1500

Provoz soustruhu zajišťují dva motory, které mohou běžet zvlášť nebo současně. Každý z těchto motorů má výkon 5,5kW. Maximální výkon je tedy 11kW. Obsluha vybírá potřebný výkon pro pohon pracovního vřetena. Tyto dva motory jsou spojeny tandemově. Tzn. pokud je v pohonu zapnut pouze jeden motor, druhý je pouze unášen.

Brždění motoru se provádí přesunutím spouštěcí páky do opačné polohy. Tím vzniknou opačné otáčky – reverzace a vřeteno je následně bržděno protiproudem. Pokud by páka zůstala ve stejné poloze i po následném zabrždění, vřeteno by se roztočilo v opačném smyslu otáčení. Tento obrácený smysl točení se používá při řezání závitů. Umožňuje zpětný chod suportu, aniž by se musela vypnout matice z vodícího šroubu.

Řazení otáček vřetena se provádí při zastavených motorech. Na stroji se nastaví podle štítku, který tam je vyražen. Jedná se o třístupňovou předlohu. Tyto tři předlohy zajišťují otáčky, které jsou zobrazeny v tabulce č.1.

Řazení posuvů a závitů se provádí při vypnutých posuvech, aby nedošlo k poškození ozubení. Velikost posuvu a stoupání závitů se provádí pomocí pák. Páky se nastaví do takové polohy, jak je vyraženo na štítku stroje. Takto se dají nastavit veškeré velikosti a stoupání závitů. Při jediném nastavení 2 párů výměnných kol lze řadit všechny posuvy s dále metrické a whitworthské řady. Pro závit modulový a diametral pitch je nutno vyměnit 1 pár výměnných kol. Vracení suportu při řezání závitů se provádí pomocí reverzace motorů a bez nutnosti vypínání matice z vodícího šroubu. U tohoto systému se nemusí používat ani závitové hodinky ani jednotunová spojka.

Tab. č. 4.1 – pracovní otáčky vřetena [8]

Řada	Otáčky	pracovního	vřetena	1/min			
1	11,2	18	22,4	28	35	45	56
2	45	71	90	112	140	180	224
3	280	450	560	710	900	1120	1400

4.1.1 Hlavní technické údaje soustruhu:

Oběžný průměr nad ložem	500 mm
Oběžný průměr nad suportem	250 mm
Vzdálenost hrotů	1500 mm
Vrtání vřetena	56 mm
Přední konec vřetena	220 ČSN 20 1011
Průměr předního ložiska	105 mm

Šířka lože	420 mm
Průměr sklíčidla	250 – 315 mm
Otáčky vřetena: počet stupňů	22
rozsah otáček	11,2 – 1400 ot/min
Posuvy: počet	87
podélné v rozsahu	0,027 – 3,8 min/ot
příčné v rozsahu	0,013 – 1,9 min/ot
Průměr a stoupání vodícího šroubu	50 x 12 mm
Výkon motorů pro hlavní pohon stroje	11 kW
Otáčky hlavních motorů	1500 ot/min
Motor pro čerpadlo na chladicí kapalinu: otáčky	2800 ot/min
výkon	0,15 kW
Motor pro rychloposuv: otáčky	3000 ot/min
výkon	0,55 kW
Maximální možná váha obráběného kusu	850 kg
Maximální krouticí moment:	3041 Nm



Obr. 4.2 – Soustruh SA 50 A/1500

4.1.2 Údržba stroje

Diagnostika na tomto stroji nebyla nikdy použita. Veškerá údržba se vztahuje do pojmu oprava po poruše. Tento způsob údržby je nejhorší a nenákladnější. K poruše může dojít téměř kdykoliv. Může dojít k poškození obrobku, nástrojů i samotného stroje. Protože firma využívá výše zmíněný typ údržbu, vznikají tímto následné neplánované výdaje. Jakmile dojde k poruše, firma, která zprostředkovává opravy a údržbu, vymění nejen poškozenou součást, ale preventivně i součásti, které jsou v pořádku, avšak souvisí s daným problémem. Díky nákladnosti a následné odstávky se firma rozhodla pro nasazení technické diagnostiky.

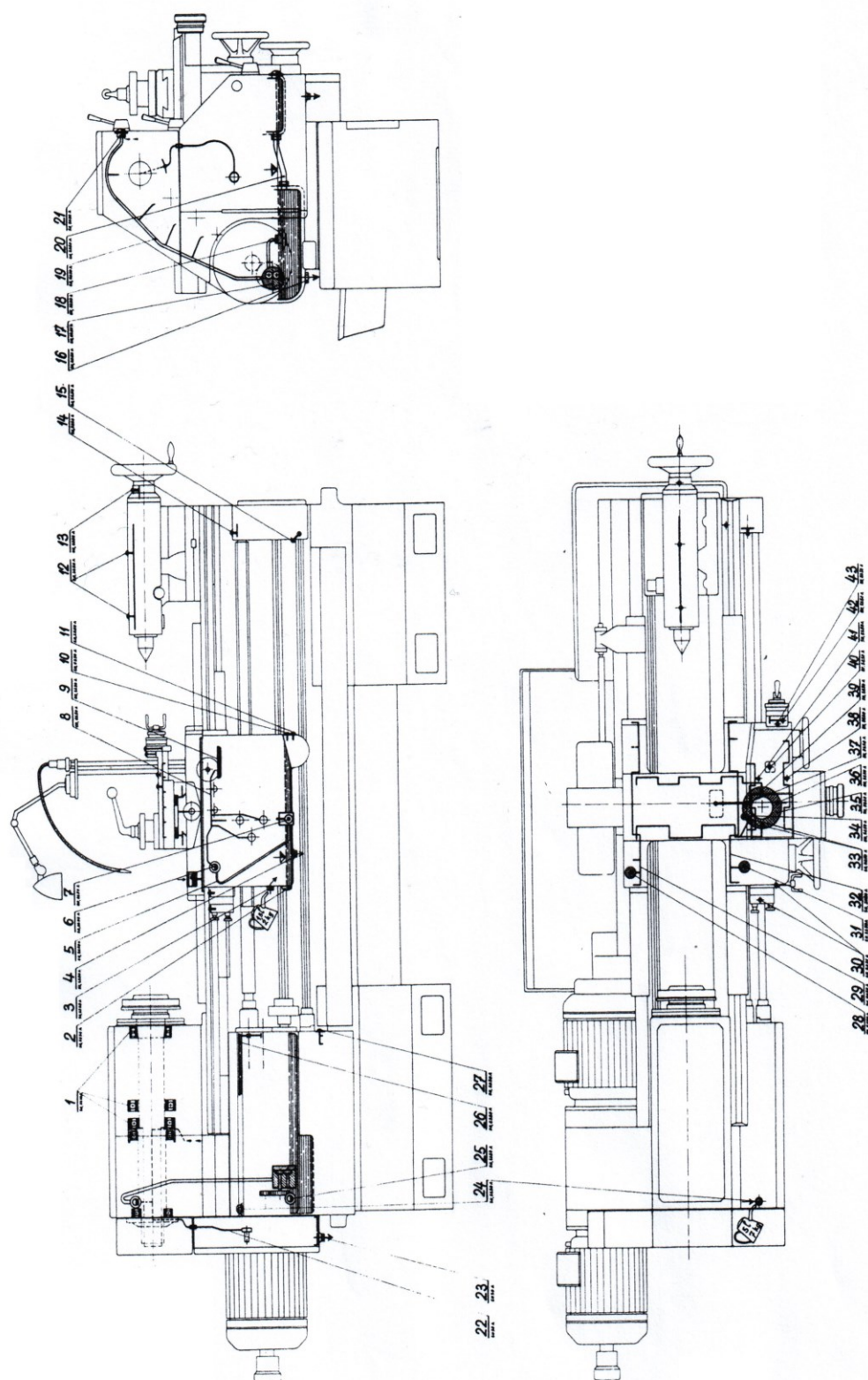
4.1.3 Mazání a mazací součásti stroje

Jak již bylo zmíněno, samotné mazání a základní údržbu vykonává obsluha stroje. Zde jsou vypsány hlavní mazací prvky. Veškeré číselné odkazy jsou zobrazeny na obr. 5.3 Doporučené mazání mazacích částí jsou poznamenány v tab. č.4.2

Tab. 4.2 tabulka mazání [8]

Mazací místo	Ozna- čení	Při 8-hod. prac.době mazat	Obsah nádrže	Značka oleje
Vřeteník	1	Výměna za 3 roky	1 kg	MOBILGREASE BRS-LIFETIME
Rychlostní skříň Závitová skříň	24	Výměna 1.náplně za 1 měsíc, další vždy po půl roce	7 l	lož. Olej OL-J 22
Suportová skříň	3	- II -	2 l	OL -J 22
Vodíc.plochy podél.a příčn.saní suportu a otočné nožové hlavy	28 31	za 3 dny		KV 46 lož.olej
Ost.maz.místa		1x denně		KV 46 lož. Olej
Chlazení			45 l	hydrol

1. Ložiska uložení pracovního vřetena jsou mazány speciálním tukem s trvanlivostí 3 roky. Možnost doplňování tlakovou maznicí po demontáži horního víka vřeteníku
2. Olejovník hladiny oleje v suportové skříni
3. Plnicí otvor suportové skříně
4. Mazací otvor ze suportové skříně
5. Mazací potrubí suportové skříně
6. Kontrolní olejovník čerpadla a suportové skříně
7. Pístové čerpadlo suportové skříně
8. Rozvod mazání v suportové skříni
9. Další pohled rozvodu mazání v suportové skříni
10. Pomocné ložisko – mazat olejem
11. Pomocné ložisko – mazat olejem
12. Mazání hrotové objímky koníku
13. Mazání ložiska a matice šroubu koníku
14. Mazání ložisek vodícího šroubu a tažného hřídele
15. Mazání ložisek vypínací tyče a hřídele křivkových bubnů
16. Vypouštěcí otvor rychlostní skříně
17. Zubové čerpadlo rychlostní skříně
18. Sací koš zubového čerpadla
19. Rozvod mazání rychlostní skříně
20. Rozpojovací trubka mezi rychlostní a závitovou skříni
21. Kontrolní olejovník zubového čerpadla
22. Mazání skříně výměnných kol
23. Vypouštěcí otvor skříně výměnných kol
24. Plnicí otvor závitové a rychlostní skříně
25. Olejovník hladiny oleje v závitové skříni
26. Rozvod oleje pro ložisko vodícího šroubu a tažného hřídele
27. Mazání ložiska pomocných hřídelí
28. – 32. Mazání kluzných ploch podélných sání suportů
30. Mazání podélného nárazkového bubínku
33. – 39. Mazání sání příčného suportu
34. Plnicí otvor kruhového žlábků příčného suportu
35. Kruhový žlábek
36. Mazání matice pohybového šroubu příčného suportu
38. – 41. Mazání sání horního podélného suportu



Mazání stroje

Obr. č.4.3 mazání stroje [8] – viz příloha č.1

4.1.4 Seznam ložisek

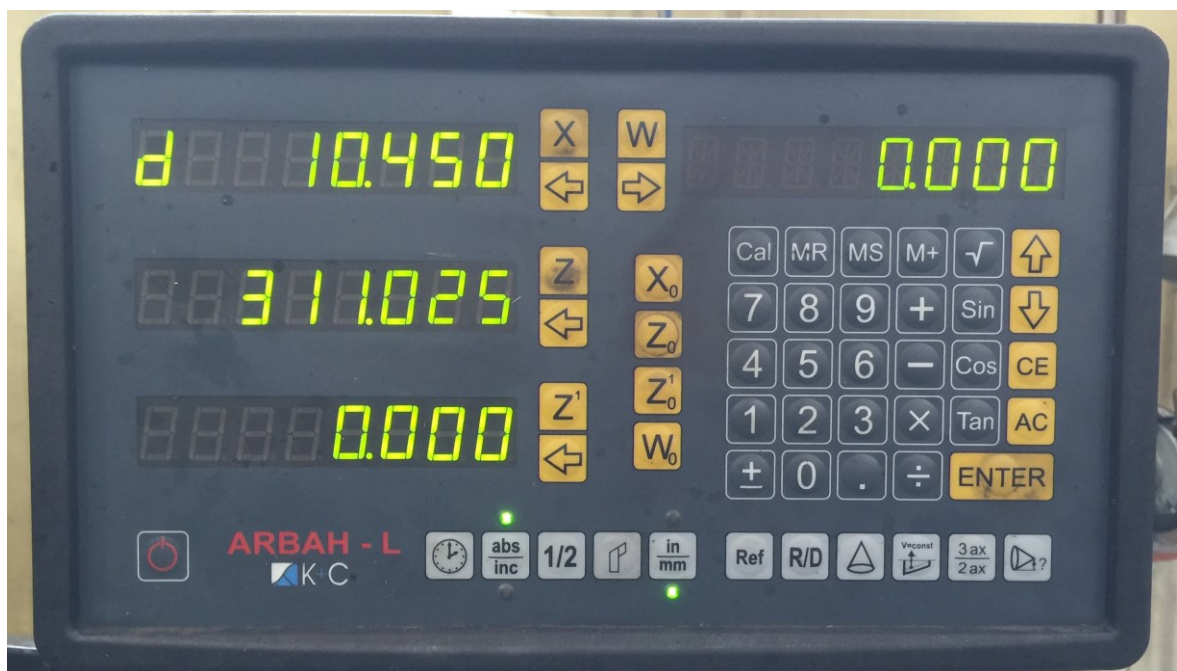
Ke správnému diagnostikování problému patří i znalost samotného stroje. Tedy druh a typ ložisek, katalogové označení, typ základu, olej v olejových nádržích apod.

<u>Seznam valivých ložisek</u>	<u>ks</u>	<u>Označení</u>
Vřeteník	1	6218 ČSN 02 4636
	1	NN 3021 K ČSN02 4700
		Rad. Vůle C2 s vůlí 0,035/0,06
	4	6205 ČSN 02 4636
	1	6022 ČSN 02 4636
	2	6204 ČSN 02 4636
	2	6206 ČSN 02 4636
	1	V6220 C4 ČSN 02 4636
	1	V6221 C4 ČSN 02 4636
	2	6207 ČSN 02 4636
	4	6307 ČSN 02 4637
	2	6309 ČSN 02 4637
	2	4005 ČSN 02 4695
Závitová skříň	2	6008 ČSN 02 4633
	3	6205 ČSN 02 4636
	6	6206 ČSN 02 4636
	1	51108 ČSN 02 4637
	2	51108 ČSN 02 4730
	2	6006 ČSN 02 4633
	1	6203 ČSN 02 4633
Suport	2	51203 ČSN 02 4731
	1	6204 ČSN 02 4636
Koník	1	51206 ČSN 02 4731
Suportová skříň	2	6008 ČSN 02 4633
	1	51108 ČSN 02 4730
	1	6204 ČSN 02 4636
	1	6005 ČSN 02 4633
	1	6203 ČSN 02 4636
	3	6202 ČSN 02 4636
	3	6000 ČSN 02 4633

Seznam valivých ložisek	ks	Označení
Suportová skříň	2	6007 ČSN 02 4633
Suportová skříň/ jehly	86	Jehla I. Ø 3x24 ČSN 02 3693
	104	Jehla I. Ø 2,5x14 ČSN 02 3693
	136	Jehla I. Ø 3x20 ČSN 02 3693

4.1.5 Digitální odměřovací systém ArBAH – L

Tento soustruh používá digitální odměřovací systém sloužící pro přesné určení polohy nástroje. Pracuje ve dvou osách, je však možnost přídavné třetí osy. Odměřovací systém ArBAH – L dodává na trh firma K + C. Systém ArBAH je určen pro obráběcí stroje a dokáže obrábět s přesností jednoho mikrometru. ArBAH – L je určen pro soustruhy a válcové brusky, ArBAH – M je určen pro frézky, vrtačky, řezačky a portálové brusky. Dokáže odměřit od referenčního bodu základní úkony jako je například kužel nebo elipsa.



Obr. č. 4.3 - Digitální odměřovací systém ArBAH – L

4.2 Frézka FGS 50

Konzolová frézka je určena pro přesné frézování, vrtání, vyvrtávání skříňových a plochých obrobků nejen v sériové, ale i kusové výrobě. Zařízení je určeno pro všechny druhy materiálu včetně vysoce legovaných ocelí a slitin lehkých kovů. Frézka využívá nástrojů z rychloběžných ocelí i ze slinutých karbidů.

Frézka disponuje příčně posuvným vřeteníkem o velkém zdvihu. Upínací stůl má stálou polohou v příčném směru, to usnadňuje přístup do pracovního prostoru stroje. Upínací plocha stolu je 500 x 1800 mm, ve kterém jsou čtyři upínací drážky.

Celkový elektrický příkon stroje činí cca. 23kW. Celkem má frézka 3 elektromotory. Provoz vřetena zajišťuje hlavní asynchronní elektromotor o výkonu 15kW. Další elektromotor má na starost posuvy. Jedna se o asynchronní motor s výkonem 3kW. Třetí asynchronní elektromotor o příkonu 120W uvádí do provozu chlazení.

Převodová skříň frézky je samostatným celkem. V převodovce jsou uložena ozubená kola pro provoz frézky, rozvod mazání a elektromagnetická brzda pro následné zastavení vřeteníku. Čelní stěna skříně je přizpůsobena pro připevnění k vřeteníku. Na zadní stěně je přišroubován hlavní přírubový elektromotor pro pohon vřeteníku a frézovacích hlav IVG 50 a IUG 50. Vřeteník je od převodové skříně oddělen tepelně-isolační přírubou. Řazení převodů se provádí automaticky na ovládacím panelu. Řazení zajišťují dva třípolohové hydraulické válce s přesouvači a jeden dvupolohový válec s přesouvačem. Hydraulické válce, rozvaděče a koncové spínače jsou umístěny v samostatném litinovém tělese, které tvoří víko převodové skříně. Řazení otáček se provádí pouze při zastaveném vřetenu.

Vřeteno je uloženo ve valivých ložiskách. Osové tlaky jsou zachytávány kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem. Veškerá ložiska vřetena jsou mazána tukem.

Tab. č.4.3 – pracovní otáčky vřetena [7]

Stupně	otáček	vřetena	1/min					
35,5	45	56	71	90	112	140	180	224
280	355	450	560	710	900	1120	1400	1800

Tab. č.4.4 – stupně rychlosti posuvů [7]

Stupně	posuvů	mm.min ⁻¹						
x, y	10	14	20	28	40	56	80	112
z	2,5	3,5	5	7	10	14	20	28
x, y	160	224	315	450	630	900	1250	1800
z	40	56	80	112	160	224	315	450
Rychloposuv								
x, y	4000							
z	1000							

4.2.1 Hlavní technické údaje frézky:

Elektromotor vřetena	otáčky	1445 ot/min.
	výkon	15 kW
Elektromotor posuvů	otáčky	940 ot/min
	výkon	3 kW
Elektromotor chlazení	otáčky	2800 ot/min
	výkon	120 W
Otáčky vřetena	maximální dopravované množství kapaliny	40 l/min
	počet stupňů	18
	rozsah	35,5 – 1800 ot/min
Pracovní posuvy	počet stupňů	16
	rozsah podélný + příčný	10–1800 mm/min
	svislý	2,5–450 mm/min
Upínací plocha stolu	šířka x délka	500 x 1800 mm
Podélný pohyb stolu (strojní)		1400 mm
Příčný pohyb stolu (strojní)		630 mm
Svislý pohyb stolu (strojní)		500 mm
Průměr vřetena v předním ložisku		105 mm
Největší kroutící moment vřetena		2500 Nm
Maximální hmotnost obrobku		1500 kg
Hlavní rozměry stroje	délka	3060 mm
	šířka	3350 mm
	výška	2500 mm

4.2.2 Údržba stroje

Stejně jako u soustruhu SU 50 A/1500 i na tomto stroji nebyla nikdy použita diagnostika. Stroj je po generální opravě a stále v záruce, tudíž by měly veškeré komponenty být v pořádku. Nasazení technické diagnostiky je do budoucna pro predikci poruchy bezproblémový chod stroje nevyhnutelné.

Na stroji je prováděna pouze směnová údržba obsluhujícího. Obráběč kontroluje stavy olejů v jednotlivých nádržích dle tabulek. Čistí stroj před a po začátkem pracovní směny od prachu a nečistot, které by se mohly dostat do pohybových ploch stroje. K čištění není dovoleno používat stlačeného vzduchu. Tlakové čištění vtlačuje nečistoty do gufer a těsnících ploch.



Obr. č.4.4 – Konzolová frézka FGS 50

4.2.3 Mazání a mazací součásti frézky

Základní mazání vykonává obsluha stroje. O hlavní části frézky, které musí být neustále mazány, se stará systém elektro-čerpadel. Mezi hlavní oběhové mazací prvky patří převodovka a posuvový náhon. U elektromotorů se musí v pětiletém intervalu vyměnit tuková náplň ložisek. Elektromotor včetně se domazává jedenkrát za půl roku mazacím tukem.

Základní technické údaje mazacího agregátu:

Objem nádrže		4,75 l
Počet vývodů		1
Světlost vývodů		Js 5
Elektromotor – viz hlavní technické parametry frézy		
Zubový hydrogenerátor		C 027 XTM HG
Pojistný ventil		511 – VP – 9 – A
	nastaven na tlak	2,5 MPa
Zpětný ventil		VJ-1-06-0,05-01
	nastaven na tlak	0,05 MPa
Přepouštěcí ventil (šoupátkový)	nastaven na tlak	2 MPa
Hladinoměr		0,3/150
Filtr SF		ČSN 02 7706.OE Ø 70
Tlakový spínač		ČSN 30 4433
Dávkovače		Saxonia 0,06 cm ³
Filtrační pouzdro FP		ČSN 02 7706.06 12x16x40
Tlakoměr		ČSN 25 7210, A 60, 0 – 6 MPa

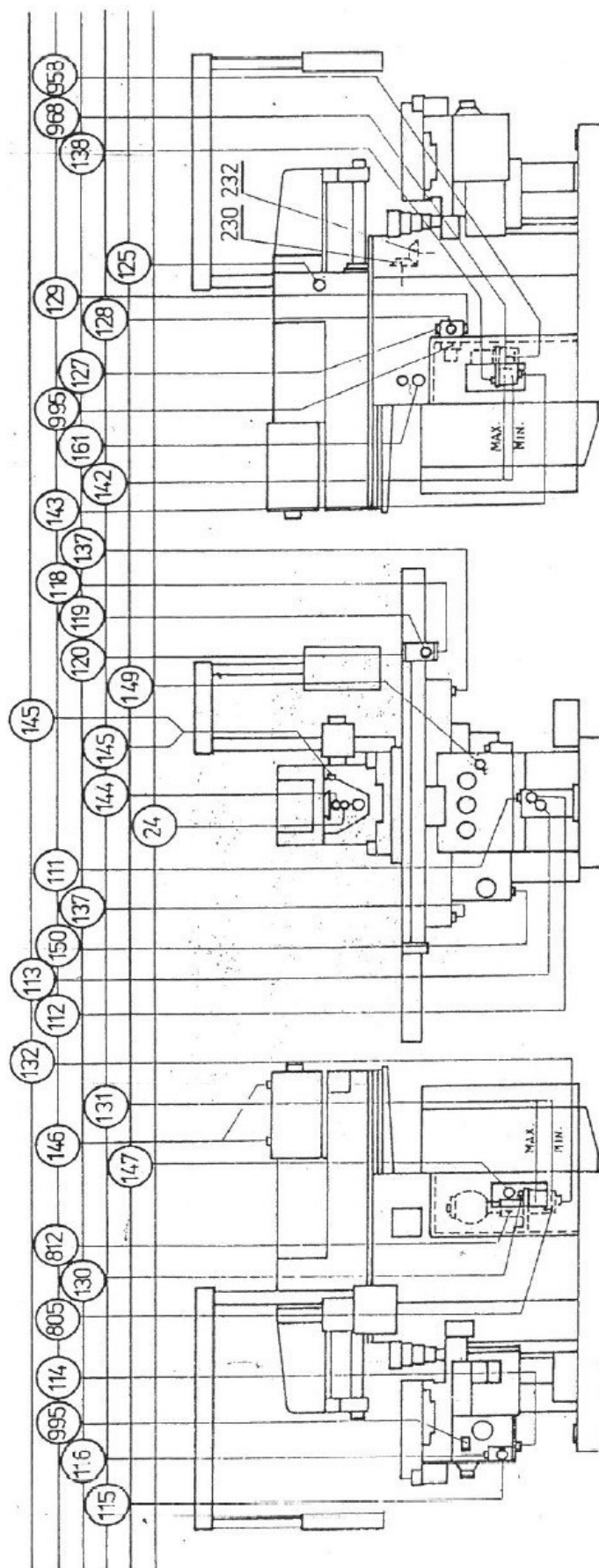
Schéma mazacích míst:

- 111 Místo pro plnění oleje ve stojánu konzoly
- 112 Olejznak – stojánek
- 113 Místo pro vypouštění oleje – stojánek
- 114 Místo pro vypouštění oleje – konzola
- 115 Olejznak – konzola a posuvná skříň
- 116 Místo pro plnění oleje – konzola
- 117 Elektročerpadlo mazání – konzola, posuvová skříň
- 118 Místo pro vypouštění oleje – pravé ložisko podélného šroubu
- 119 Olejznak – pravé ložisko podélného šroubu

- 120 Místo pro plnění oleje – pravé ložisko podélného šroubu
- 125 Olejovník – kontrola funkce elektročerpadla
- 126 Elektročerpadlo mazání – stojan, vřeteník a převodovka
- 127 Místo pro plnění oleje – stojan
- 128 Olejovník – stojan
- 129 Místo pro vypouštění oleje – stojan
- 130 Místo pro plnění – hydraulický agregát
- 131 Označení výšky hladiny oleje v hydraulickém agregátu
- 132 Místo pro vypouštění oleje – hydraulický agregát
- 137 Odkalovací zátky
- 138 Místo pro plnění oleje – mazací agregát pro vodící plochy
- 142 Označení výšky hladiny oleje v mazacím agregátu
- 143 Místo pro vypouštění oleje – mazací agregát
- 144 Olejovník – podpěrné ložisko
- 145 Místo pro plnění – podpěrné ložisko
- 146 Místo pro plnění – elektromotor vřetena
- 147 Manometr – kontrola tlaku v hydraulickém agregátu
- 149 Kontrolní olejovník mazání – konzola – posuvová skříň
- 150 Vypouštěcí zátky oleje – posuvová skříň
- 160 Olejovník – maximální množství ztrátového oleje z příčných vodících ploch
(vypouští se zátkou 161)
- 161 Místo pro vypouštění ztrátového oleje z příčných vodících ploch
- 805 Filtr plochý – hydraulický agregát
- 812 Filtr trubkový – hydraulický agregát
- 958 Filtr plochý – mazací agregát

4.2.4 Digitální odměřovací systém ArBAH – M

Stejně jako u soustruhu je použit číslicový digitální systém. Jedná se pouze o odměřování. Tento systém nám nemůže naprogramovat proces obrábění podobně jako u NC či CNC strojů. Veškeré technické specifikace jsou obdobné jako u ArBAH – L. Viz kapitola 4.1.5. Display Odměřovacího systému je umístěn na ovládacím panelu frézky. Viz obr. č. 4.6



Obr. č.4.5 – schéma mazacích míst frézky [7] – viz příloha č. 2



Obr. č. 4.6 – Ovládací panel frézky + odměřovací systém ArBAH – M

4.3 Horizontální vyvrtávačka W 100 A

Horizontální vyvrtávačka je určena pro přesné souřadnicové vrtání, vyvrtávání, frézování, lícni soustružení a řezání závitů obrobků do hmotnosti 3 tun. Základem stroje je vřeteník, stojan, rozvodová skříň, lože, saně a stůl. Vřeteník je pohyblivý ve 3 osách. Stůl je otočný, což umožňuje obrábění ve čtyřech osách.

Chod stroje zajišťuje jeden hlavní asynchronní elektromotor s kotvou na krátko o výkonu 11kW. Tento elektromotor zajišťuje i chod posuvů. Celkem má vyvrtávačka 4 elektromotory. Jeden zajišťuje oběh mazání, další oběh chladicí kapaliny a poslední zastavení vřetena. Veškeré motory jsou asynchronní.

Řazení otáček se provádí při klidném stavu stroje. Otáčky jsou děleny do tří řad viz tabulka č.4.5. Zařazení dané rychlosti se provádí pomocí řadicích pák. Dané otáčky jsou vyraženy na štítku stroje a jejich rozsah činí 7,1 – 1120 ot/min. u vřetena a 7,1 – 224 ot/min u lícni desky.

Vřeteník je nesen na stojanu. Jedná se o odlitek, jehož tuhost zajišťuje vnitřní žebrovaní. Vně dutiny odlitku se pohybuje protizávaží vřeteníku. Na vrcholu je umístěna konzola s kladkami pro řetěz protizávaží. Mezi vodícími plochami je umístěn pohyblivý šroub pro svislý pojezd vřeteníku a hřídel pro pohon saní a stolu.

Tabulka č. 4.5 – pracovní otáčky vřetena [6]

Řada	Otáčky pracovního vřetena 1/min							
1	7,1	9	11,2	14	18	22,4	28	35,5
2	45	56	71	90	112	140	180	224
3	224	280	355	450	560	710	900	1120

4.3.1 Hlavní technické údaje vyvrtávačky:

Vřeteník

Pracovní průměr vřetena	100 mm
Maximální vysunutí pracovního vřetena (osa Z)	900 mm
Výška osy pracovního vřetena	min: 0 mm
	max: 1120 mm
Průměr lícní desky	600 mm
Největší průměr čelního soustružení	900 mm

Stůl

Upínací plocha	1250 x 1250 mm
Příčné přestavení stolu (osa X)	1600 mm
Podélné přestavení stolu (osa W)	1250 mm
Upínací T drážky stolu	počet 9
	velikost 22 ČSN – 02 1030
	rozteč 160/80 mm
Maximální nosnost	3000 kg

Otáčky

Počet stupňů otáček vřetena	24
Rozsah otáček vřetena	7,1 – 1120 ot/min
Počet stupňů otáček lícní desky	16
Rozsah otáček lícní desky	7,1 – 224 ot/min
Maximální krouticí moment na vřetenu	max. otáčky 78,5 Nm
	min. otáčky 3350 Nm

Elektromotory

Motoru pro hlavní pohon stroje	výkon 11 kW
	otáčky 1445 ot/min
Motor pro okruh mazání stroje	výkon 90 W
	otáčky 1350 ot/min

Motor pro vtažení vřeteníku	výkon	370 W
	otáčky	1370 ot/min
Motor pro čerpadlo chladicí kapaliny	výkon	200 W
	otáčky	2800 ot/min



Obr. č. 4.7 – Horizontální vyvrtávačka W 100 A

4.3.2 Údržba stroje

Na horizontální vyvrtávačce stejně jako v předchozích dvou případech nebyla nasazena technická diagnostika. V této diplomové práci bude pro tento stroj udělán tribodiagnostický rozbor převodového oleje a vyhodnocení vibrací při maximálních otáčkách vřetena tedy 1120 ot/min. Veškerý postup odběr vzorků, zpracování a vyhodnocení je popsán v následujících kapitolách.

Obsluha stroje před a po každé směně očistí stroj. Každý stroj na obráběcí dílně se nesmí očišťovat stlačeným vzduchem z důvodu zanesení nečistot do těsnících ploch. Kontroluje odznaky v nádržích a promaže vodící plochy stolu.

4.3.3 Mazání a mazací součásti stroje

Mazací agregát zajišťuje mazání vodících ploch a pohybových matic, ozubených kol a ložisek ve vřeteníku a ložisko výložníku v saních a stolu. Olej z mazacího agregátu je rozdělen do dvou větví, jedna větev je určena pro saně a stůl, druhá pro vřeteník. Z těchto větví je dále olej rozveden přes rozváděcí kostky do mazacích míst. Množství oleje pro jednotlivé větve lze regulovat škrticími šrouby. Přívody do mazacích míst byly v rozváděcích kostkách seřízeny při výrobě stroje. Jedná se o ztrátové mazání stroje, dochází tedy k hromadění oleje v dutinách podélných saní. Proto je ve spodní části saní výpustná zátk. Doporučuje se dle potřeby 1x za rok nahromaděný olej vypustit.

Mazání vřeteníku je oběžné, samočinné. Od sacího koše je nasáván olej ze spodní části vřeteníku pístovým čerpadlem a rozveden na mazací místa vřeteníku. Při správném naplnění oleje do zásobníku vřeteníku dosahuje hladina oleje 2/3 průzoru olejovému. Klesne-li hladina oleje pod 1/3 průzoru, je nutné olej doplnit. Před novým naplněním se musí nádrž vyčistit proplachovacím olejem. Výměna oleje se provádí 2x ročně. Mazání lící desky je zajištěno hlavicemi tlakových maznic při nulovém vysunutí nožových saní.

Tab. č.4.6 Mazací plán horizontální vyvrtávačky W 100 A [6]

MAZACÍ PLÁN W 100 A									
Místo mazání		označení místa			Způsob mazání	objem nádrže	Interval mazání (doplnění)	Mazivo označení ČSN	Analytická hodnota – viskozita cSt(E ^o) při 50 °C
		plnění	vypouštění	kontrola					
Vřeteník	Soukolí a ložiska	1581	1465	1426	Oběhové	asi 20 kg	1. výměna po 200 hod., další po 2000 prac. hod.	OL – J4 65 6610	33 – 37 (4,7)
	Hlavní ložisko vřetena	2034	–	–	Ručně mazacím lísem	–	1000 hodin	T – SP4 65 6923	Bod skápnutí 165 °C konzist. st. 4 penetrace při 25 °C 170 – 210
	Řetěz protizávaží	22	–	–	ručně štětcem	–	min. 2x ročně	MLO ELASTIK R PN D 24 – 003 – 66	ředěný 25 – 30% benzinem
	vodící plochy, pohybové matice, ložisko výložníku	4	5	6	ztrátové centrálně tlačítkem S15	asi 8 kg	Podle hladiny v olejovému	OL – P8A 65 6610	72 – 76 (9,5 – 10)
Saně a stůl	vodící plochy, pohybové matice soukolí, ložiska								
	Středící ložisko stolu	16	–	–	Rozstřík		2000 hodin	T – SP4 65 6923	dtto
Rozv. skříň	Soukolí ložiska	10	–	10	–	2 kg	výška hladiny podle zářezu na tyče	OL – P8A 65 6610	
Stoján	Řetěz kladky ložisko hřídele	11	–	–	mazacím lísem	–	1x ročně	T – V2 65 6915	Bod skápnutí 145 °C konzist. st. 2 penetrace při 25 °C 250 – 290
	Čepy a ložiska ramene panelu	11	–	–		–	podle potřeby	OL – P8A 65 6610	
Luneta	Vodící plochy					–			
	Šnek soukolí posuvu ložiska	18	–	–		–	2000 hodin	T – SP4 65 6923	dtto
	Šnek soukolí podélného posuvu	17		17	Rozstřík	1 kg	Podle hladiny	OL – P8A 65 6610	

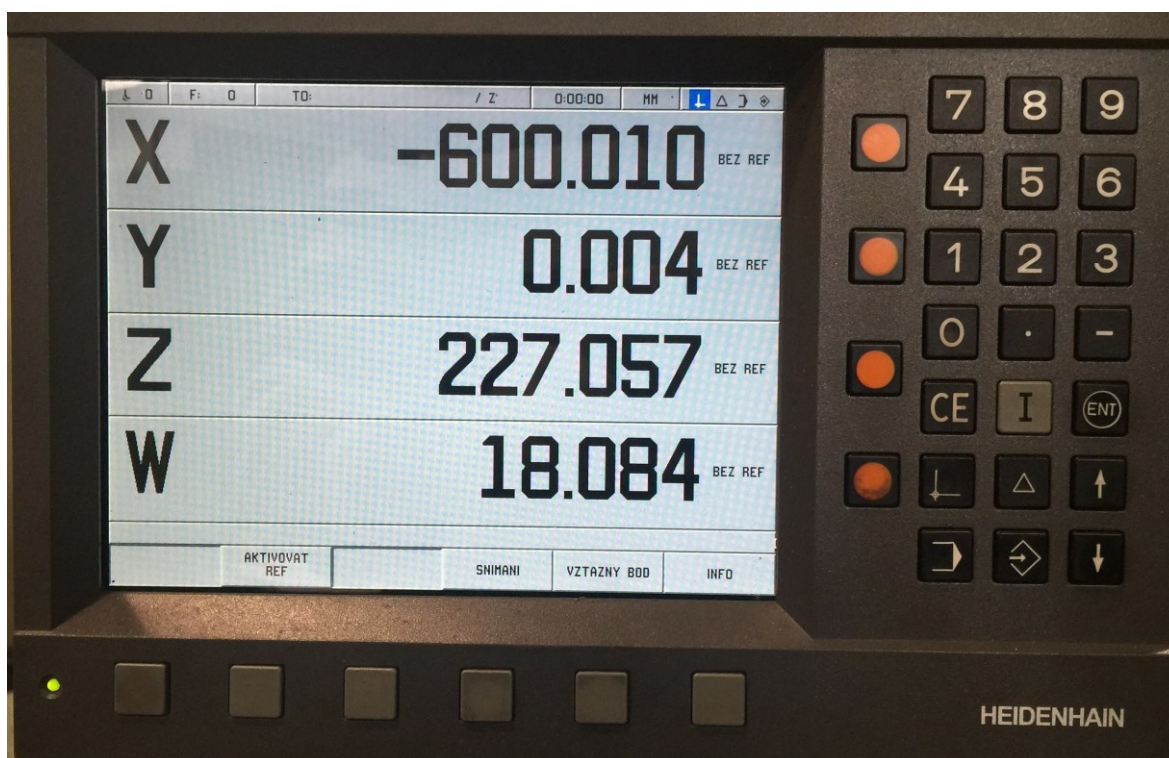
Kladky ve stojanu jsou již naplněné mazacím tukem ve výrobním závodě. Z bezpečnostních důvodů je nutné jednou měsíčně kontrolovat řetěz a jeho lamely promazat mazacím tukem, který obsahuje grafit.

Mazání rozvodové skříně je samočinné knotové. Olej je na mazací místa rozváděn pomocí knotu z olejové nádrže umístěné ve víku rozvodové skříně.

4.3.4 Digitální odměřovací systém Heidenhain Positip 880

Tento odměřovací systém může pracovat s více jak šesti osy, které dokáže mezi sebou kombinovat. Základem je operační systém Heidenhain, který dokáže programovat samotné obrábění. Jedná se pouze o základní nastavení daného obráběného tvaru na displeji, který od referenčního bodu dále odměřuje polohu nástroje. Obsluha stroje tak nemusí odčítat hodnoty na lyžínách.

Systém je vybaven barevným displejem, který zobrazuje hodnoty polohy, grafické rozložení obráběcích míst. Odměřování pracuje s přesností 5 mikrometrů. Mezi další funkce patří odměřovací kalkulačka obrobku, řezací kalkulačka a vyměřování kuželů s přesností jedné promile.



Obr. č.4.8 – Odměřovací systém Heidenhain Positip 880

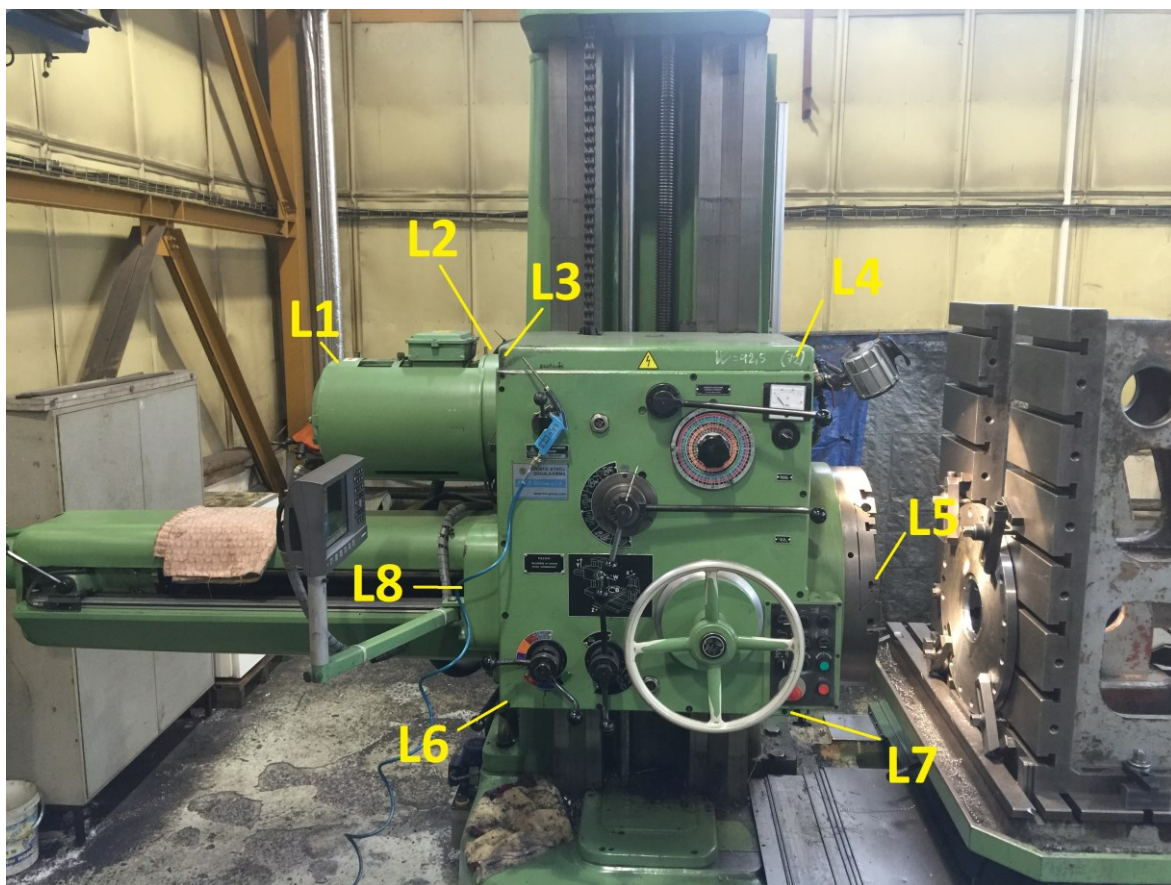
5 Diagnostika Horizontální vyvrtávačky W 100A

5.1 Vibrodiagnostika

Z důvodu chybějícího třetího snímače bylo vždy třeba měřené místo měřit dvakrát. Vertikální směr zůstal vždy zachován a vyměnil se pouze axiální směr s horizontálním. Délka měření každého místa trvala jednu minutu.

Měřicí místa byla zvolena tak, aby při opakovaném měření bylo možné snímače umístit na stejné místo. Žádný z obráběcích strojů nemá předem stanovené měřicí body.

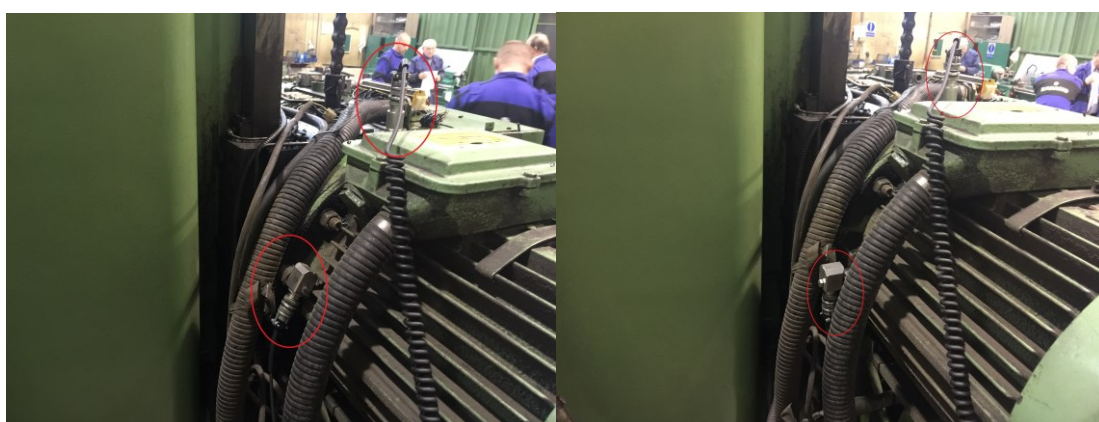
Určení měřících míst pro měření vibrací:



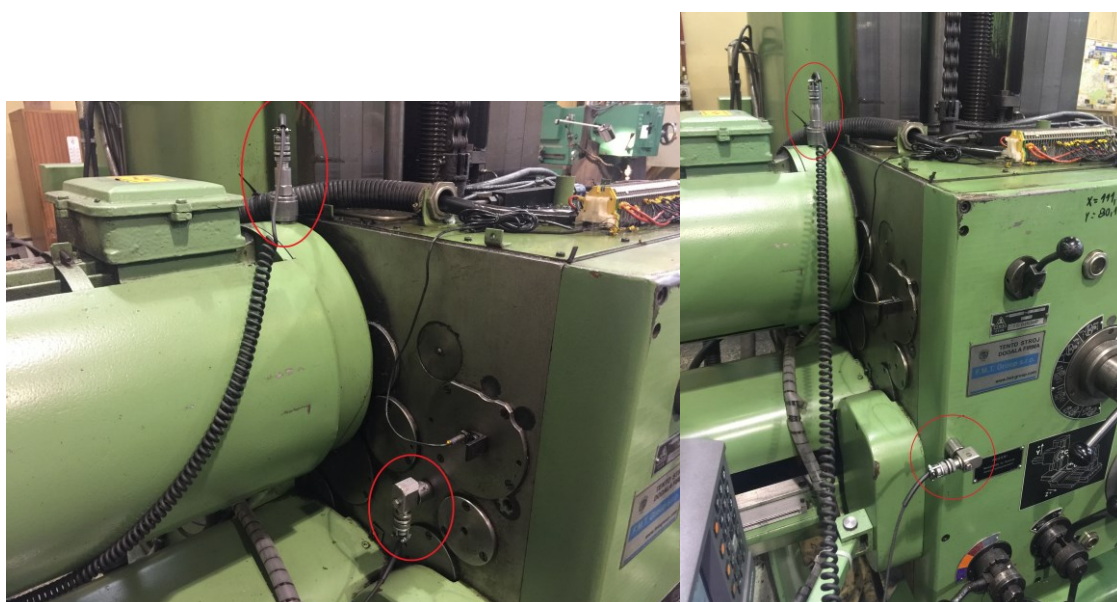
Obr. č. 5.1 – Rozložení měřících míst L1 – L8



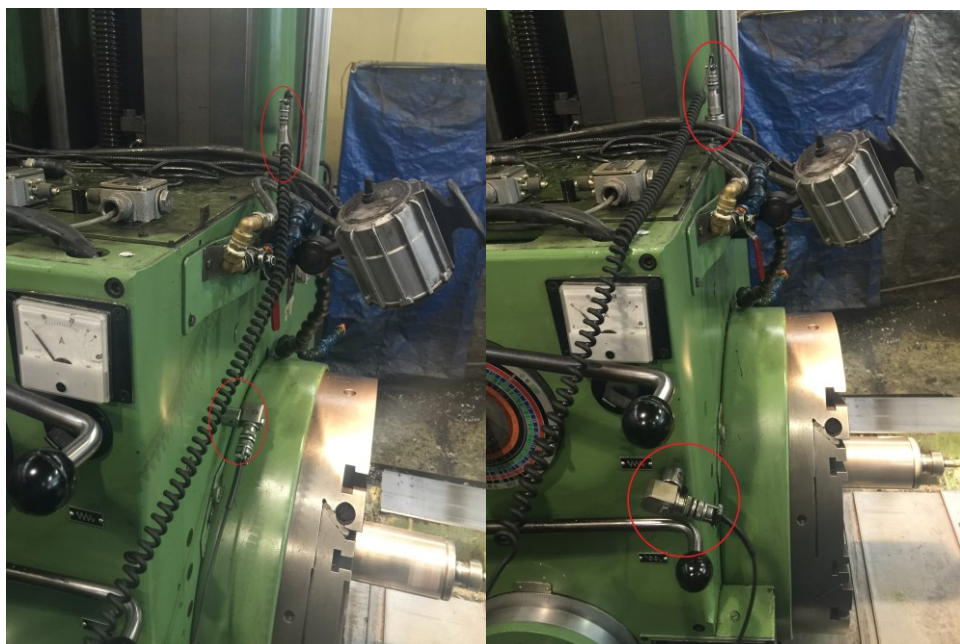
Obr. č. 5.2 – Měřící místo L1



Obr. č. 5.3 – Měřící místo L2



Obr. č. 5.4 – Měřící místo L3



Obr. č. 5.5 – Měřící místo L4



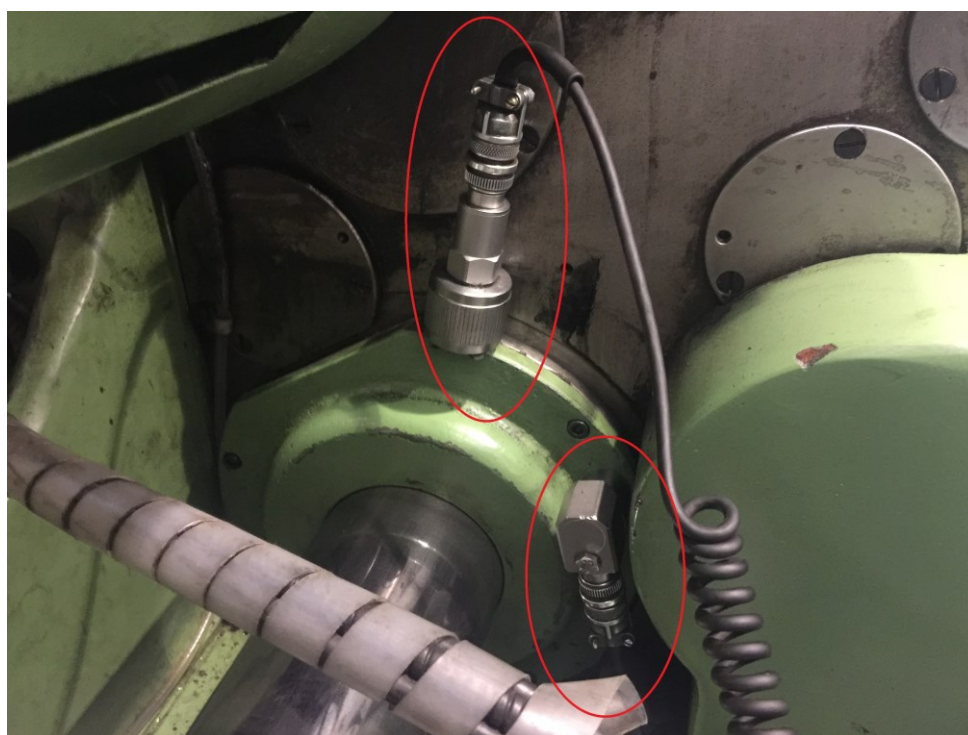
Obr. č. 5.6 – Měřící místo L5



Obr. č. 5.7 – Měřící místo L6



Obr. č. 5.8 – Měřící místo L7



Obr. č. 5.9 – Měřící místo L8

Popis měřících bodů:

- L1 – Kontrola ložiska na konci hlavního elektromotoru
- L2 – Kontrola ložiska na přírubě elektromotoru (vstup do převodové skříně)
- L3 – Vrchní strana převodové skříně (u vstupu elektromotoru)
- L4 – Vrchní strana převodové skříně (u lící desky)
- L5 – Kontrola ložisek pinoly u lící desky
- L6 – Spodní strana převodové skříně (u vstupu elektromotoru)
- L7 – Spodní strana převodové skříně (u lící desky)
- L8 – Kontrola ložiska pinoly na vstupu do převodové skříně (u elektromotoru)

Tab. č. 5.1 Výsledky měření efektivních hodnot rychlostí

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 10 - 1000Hz (V_{RMS})									
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	V	0,79	0,56	0,38	0,26	0,5	0,43	0,37	0,43
	H	0,95	0,75	0,51	0,91	0,92	0,49	0,73	-
	A	0,93	0,55	1,13	0,83	0,71	0,93	0,79	0,9

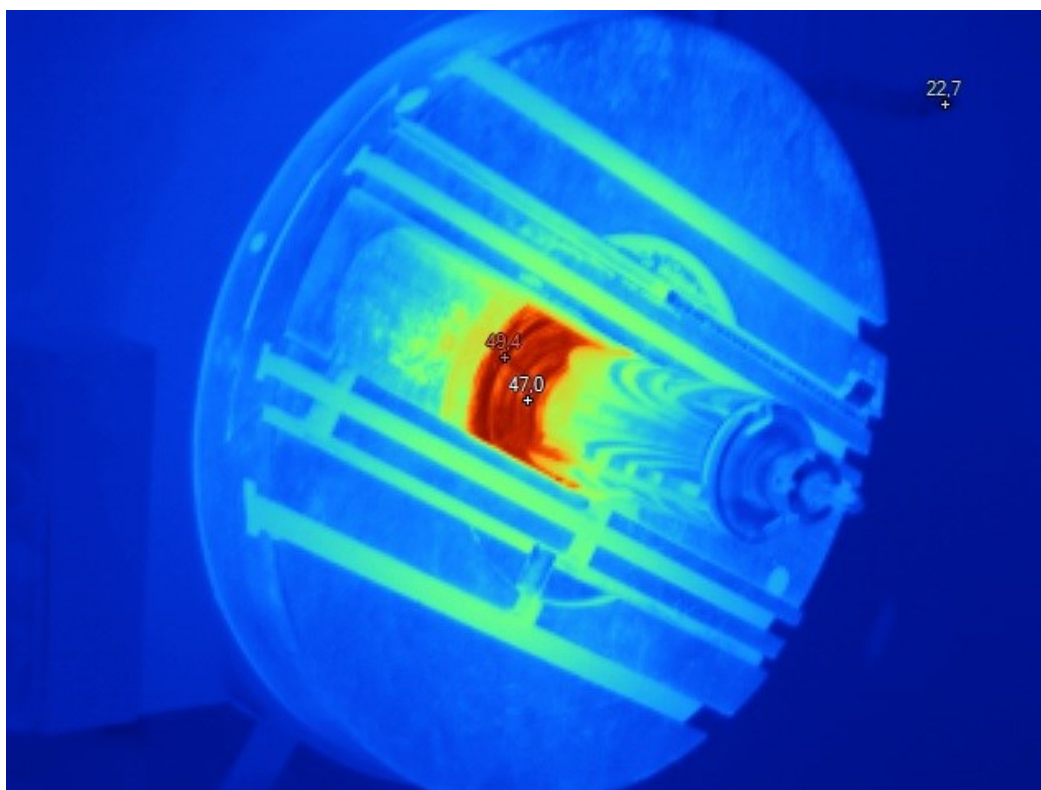
Tab. č. 5.2 Výsledky měření efektivních hodnot zrychlení

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 500 - 25600Hz (a_{RMS})									
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Veličina	Směr								
a_{RMS} [g]	V	0,38	0,42	0,35	0,17	0,13	0,51	0,37	0,57
	H	0,45	0,35	0,46	0,21	0,16	0,41	0,2	-
	A	0,47	0,39	0,61	0,19	0,18	0,3	0,16	0,66

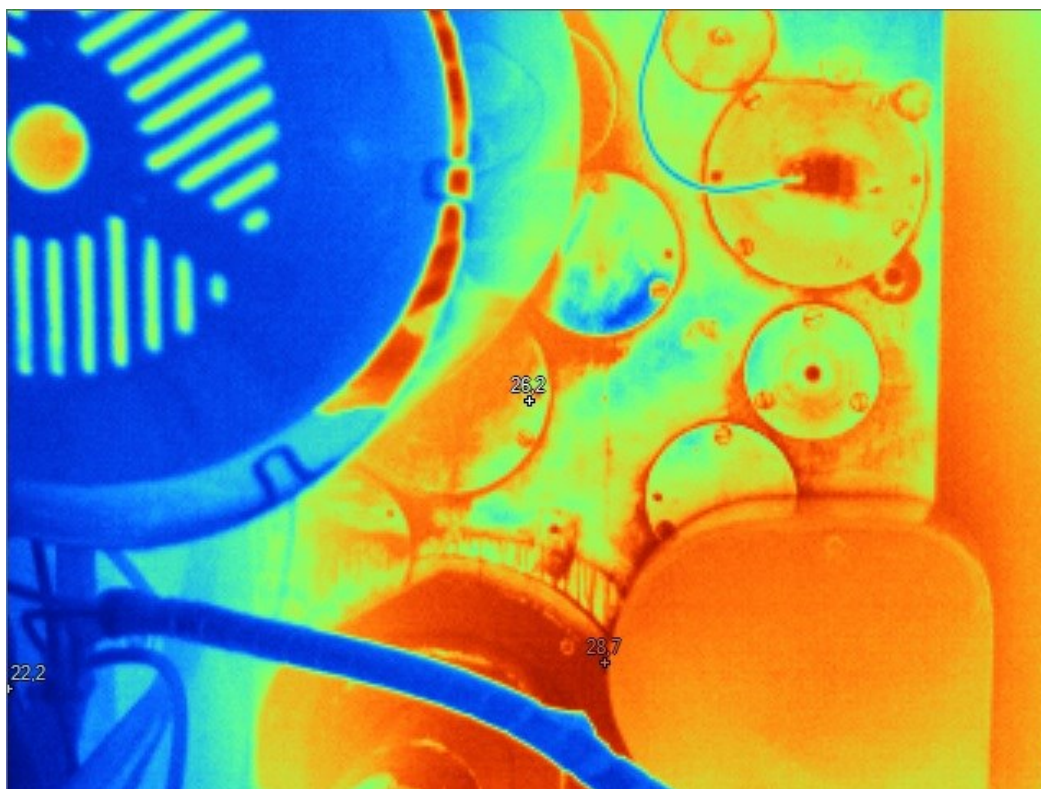
v – Efektivní hodnota rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1 000 Hz [mm/s]

a – Efektivní hodnota zrychlení vibrací v pásmu 500 – 25 600 Hz [g]

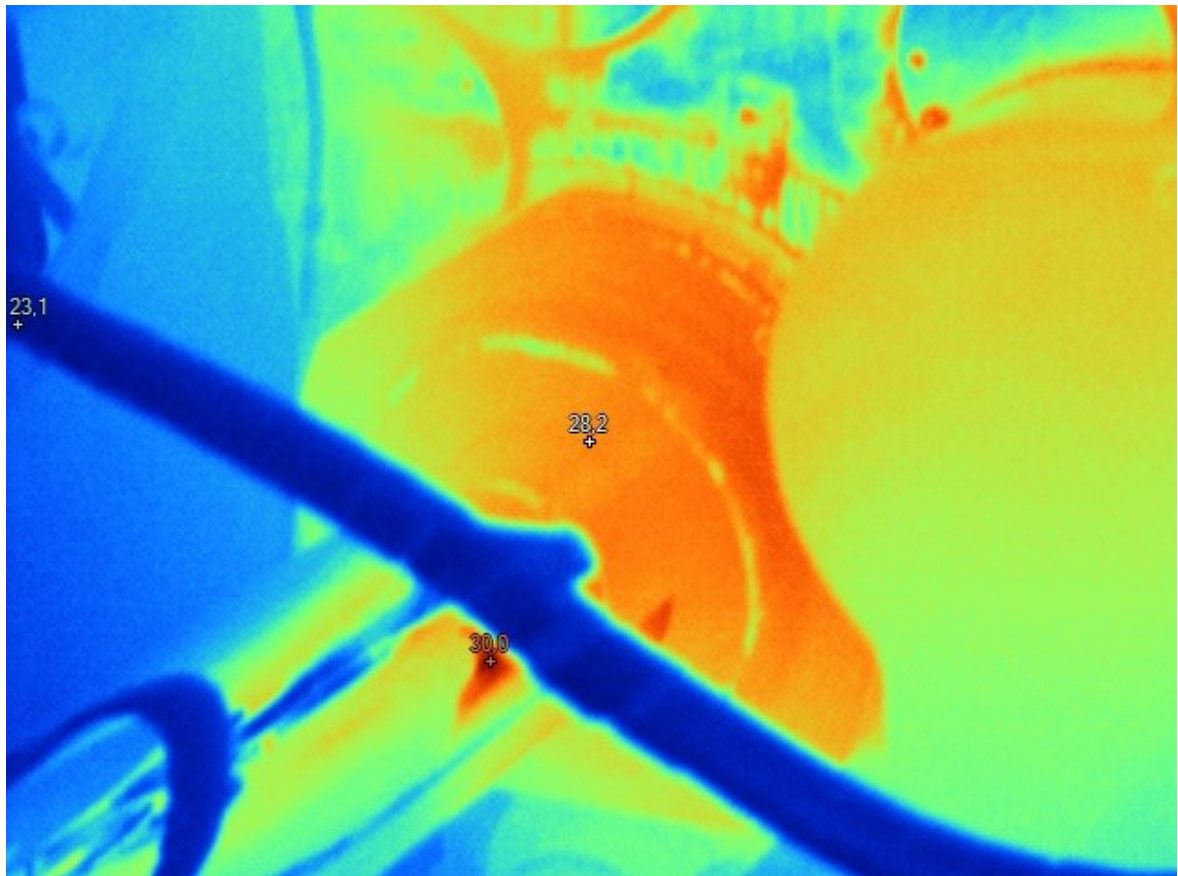
5.2 Termodiagnostika



Obr. č. 5.10 – IR termosnímek vřetene s lícní deskou



Obr. č. 5.11 – IR termosnímek zadního víka převodové skříně



Obr. č. 5.12 - IR termosnímek vstupu pinoly do převodovky

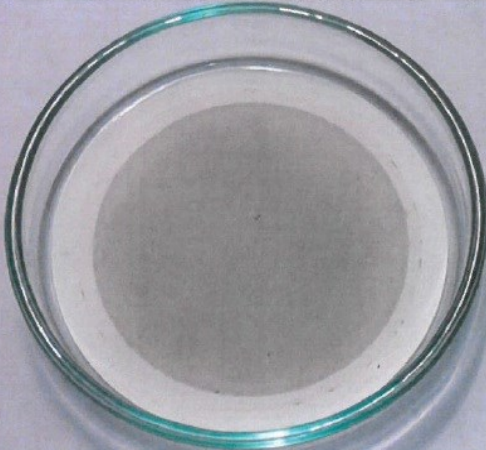
Veškeré teploty jsou v normách stroje dle uživatelského manuálu. Naměřené hodnoty neodpovídají žádnému poruše.

5.3 Tribodiagnostika

Parametry kvality oleje horizontální vyvrtávačky vyšly bez jakýchkoliv problémů. Prvková analýza vykázala zvýšené hodnoty obsahu železa, mědi a chromu. Zvýšený obsah železa napovídá o opotřebení převodů. Nadměrná hodnota mědi a chromu poukazuje na opotřebení ložisek. Viz tabulka č. 5.3 – výsledky tribologického rozboru.

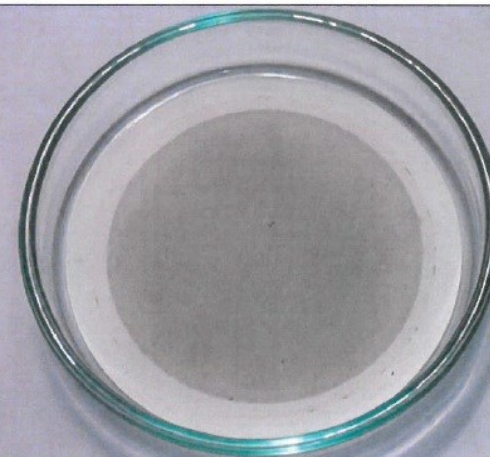
Tab. 5.3 – výsledky tribologického rozboru

Strojní zařízení			PARAMO OL-J46			
W 100A			Číslo		1	
			Typ oleje		Převodový	
			Název		Paramo OL-J46	
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		DIN 51 502 - C	
Název	Horizontální vyvrtávačka		Specifikace ISO		ISO VG 46	
Typ-číslo stroje	Obráběcí stroj		Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace		ISO 6743/2 - FC	
Strojní uzel						
Množství provozní náplně			Místo odběru		KADAMO a.s.	
Doba provozu od posl. výměny	cca 1400 hod.		Datum převzetí		9.2.2016	
Doba provozu celkem			Dodal:		Bc. Štefek	
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		3.3.2016	
VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	46,27
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,109
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,2	0,0051
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		100	150	85,6
Kód čistoty		ČSN ISO 4406				
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		150	250	172,5
obsah Cu					80	164,6
obsah Cr			12,5	15	13,7	
obsah Sn				30	<3	
obsah Si				60	2,2	
Aditiva, degradace				nový		hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				7686
obsah P						341,5
obsah Mg						<101
obsah Mo						<1
obsah Zn						153,2
obsah Ca						<10



navážka
25 ml

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

navážka
25 ml

6 Diagnostika Portálové frézky FGS 50

6.1 Vibrodiagnostika

V této kapitole budou pouze naznačeny měřící místa. Samostatné měřící body jako axiální směr, vertikální směr a horizontální směr jsou obdobné jako u horizontální vyvrtávačky W 100 A. Měřící body byly voleny tak, aby při opakovaném měření bylo možné je dát na stejné místo.

Určení měřících míst pro FGS 50



Obr. č. 6.1 – Určení měřících míst

- L1 – Kontrola ložiska na konci hlavního elektromotoru
- L2 – Kontrola ložiska na přírubě elektromotoru (vstup do převodové skříně)
- L3 – Pravá strana převodové skříně (u vstupu elektromotoru)
- L4 - Levá strana převodové skříně (u vstupu elektromotoru)
- L5 – Střed převodové skříně
- L6 – Konec převodové skříně (přechod na vřeteník)
- L7 – Vrchní část vřeteníku
- L8 – Spodní část vřeteníku

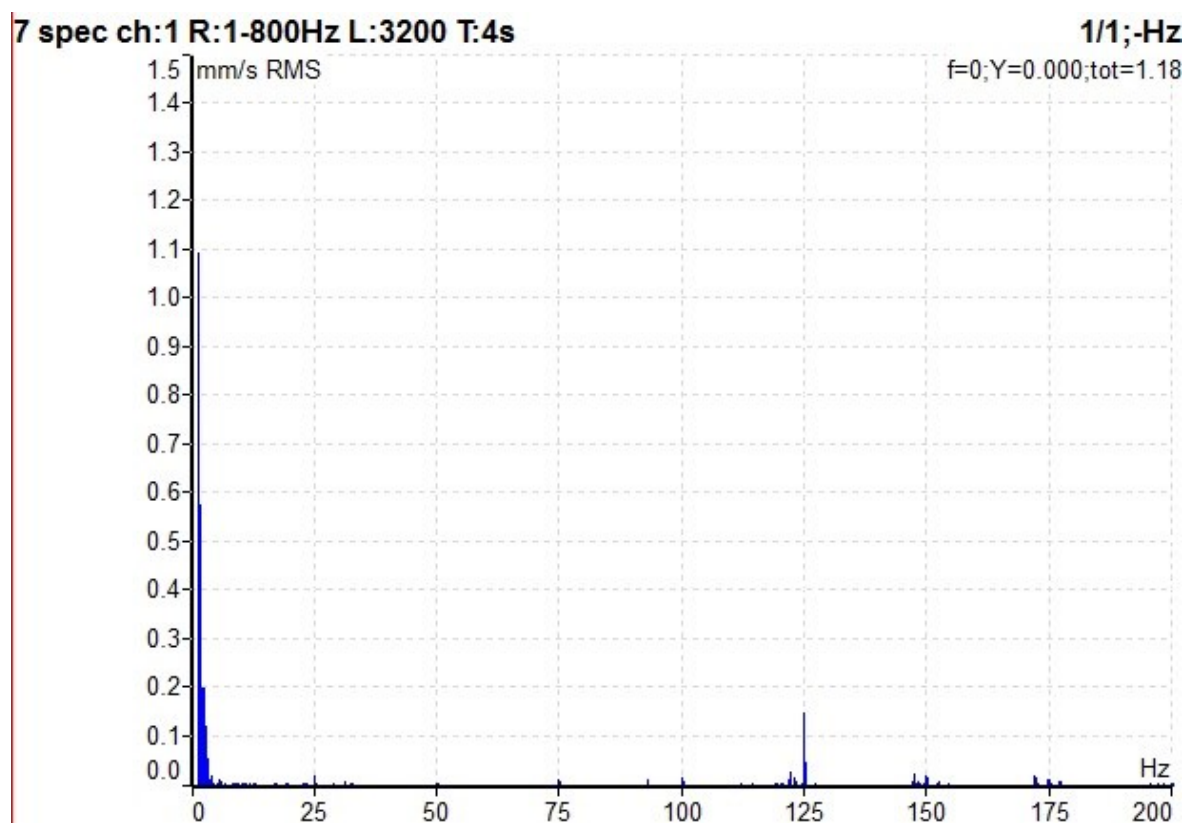
Tab. č. 6.1 Výsledky měření efektivních hodnot rychlostí

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 10 - 1000Hz (V_{RMS})									
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	V	0,78	0,41	0,45	0,4	0,44	0,49	0,25	0,62
	H	0,86	0,56	0,36	0,64	0,39	0,49	0,46	0,67
	A	0,94	0,58	0,36	0,37	-	-	-	0,46

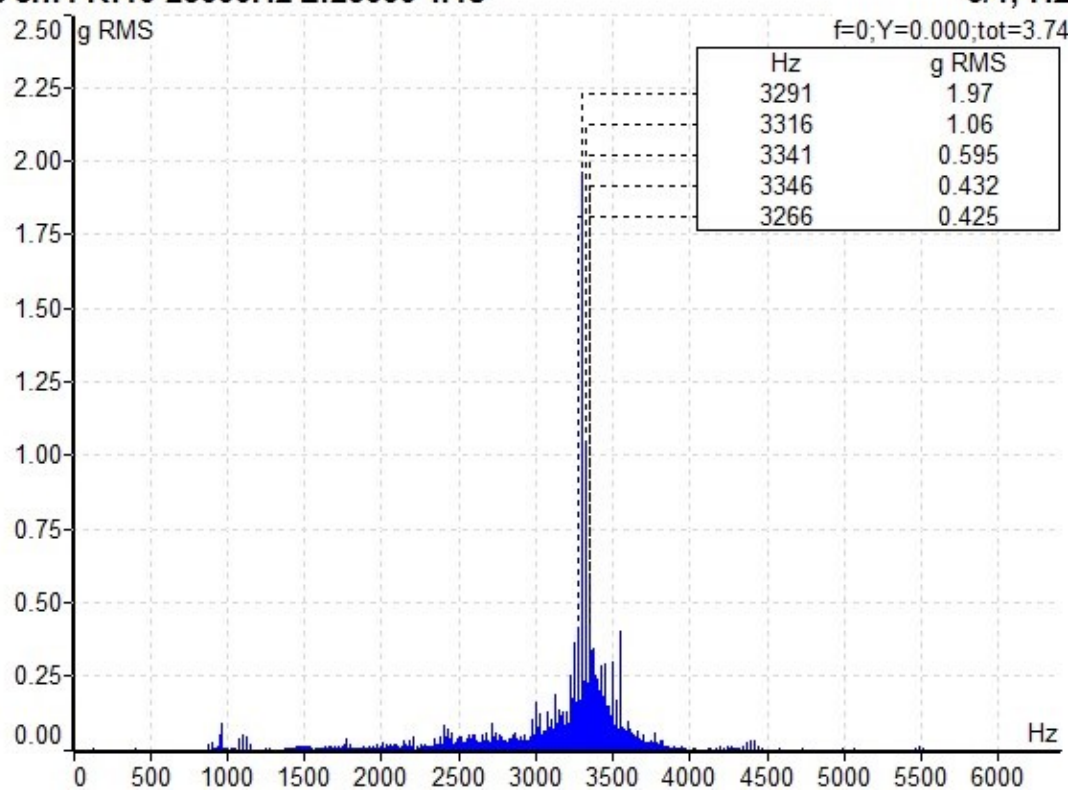
Tab. č. 6.2 Výsledky měření efektivních hodnot zrychlení

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 500 - 25600Hz (a_{RMS})									
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Veličina	Směr								
a_{RMS} [g]	V	1,4	3,9	1,89	1,73	1,76	0,92	1,21	1,81
	H	0,83	1	1,4	1,01	0,97	0,99	0,75	1,19
	A	1,8	0,94	0,74	0,68	-	-	-	1,5

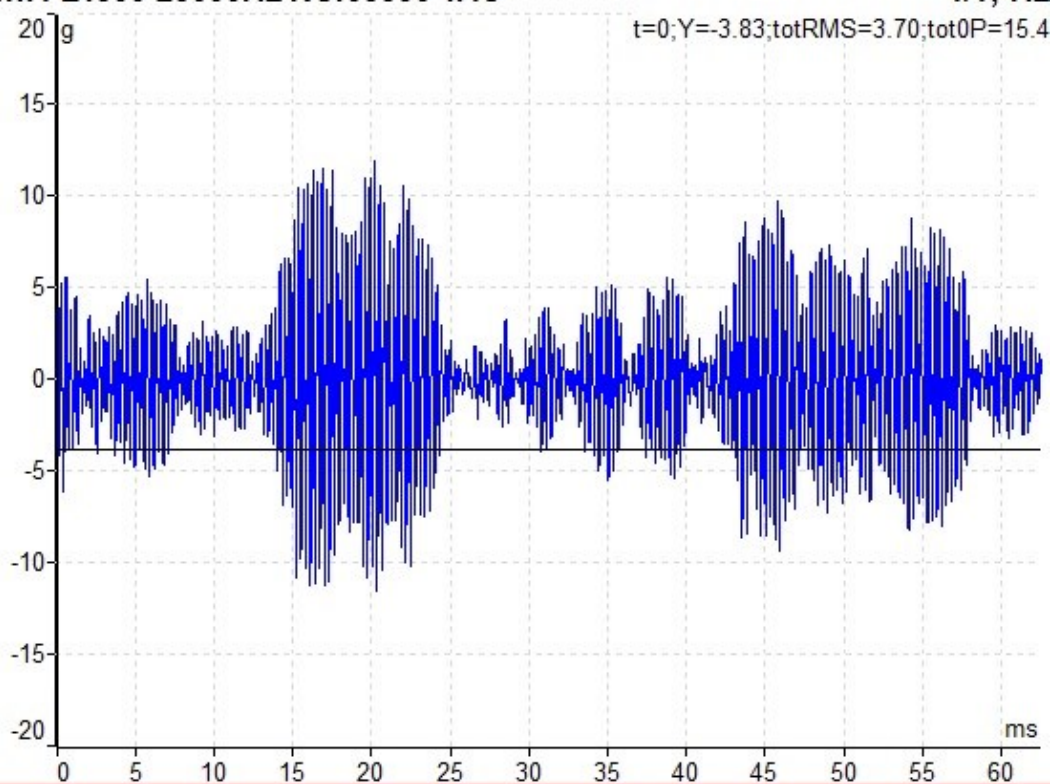
Dle tabulky je patrné, že efektivní hodnoty rychlosti jsou v normě. Efektivní hodnoty zrychlení jsou však zvýšené.



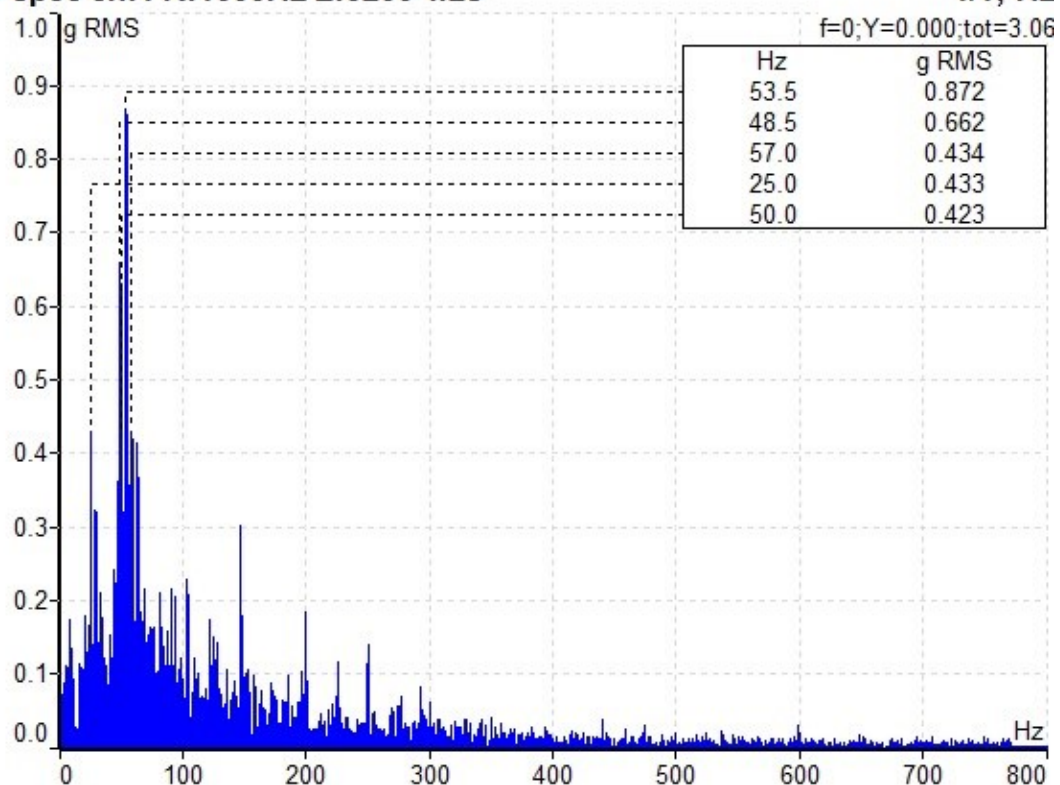
Obr. č. 6.2 – Frekvenční spektrum rychlosti L2 - vertikál

28 spec ch:1 R:10-25600Hz L:25600 T:1s**3/4;-Hz**

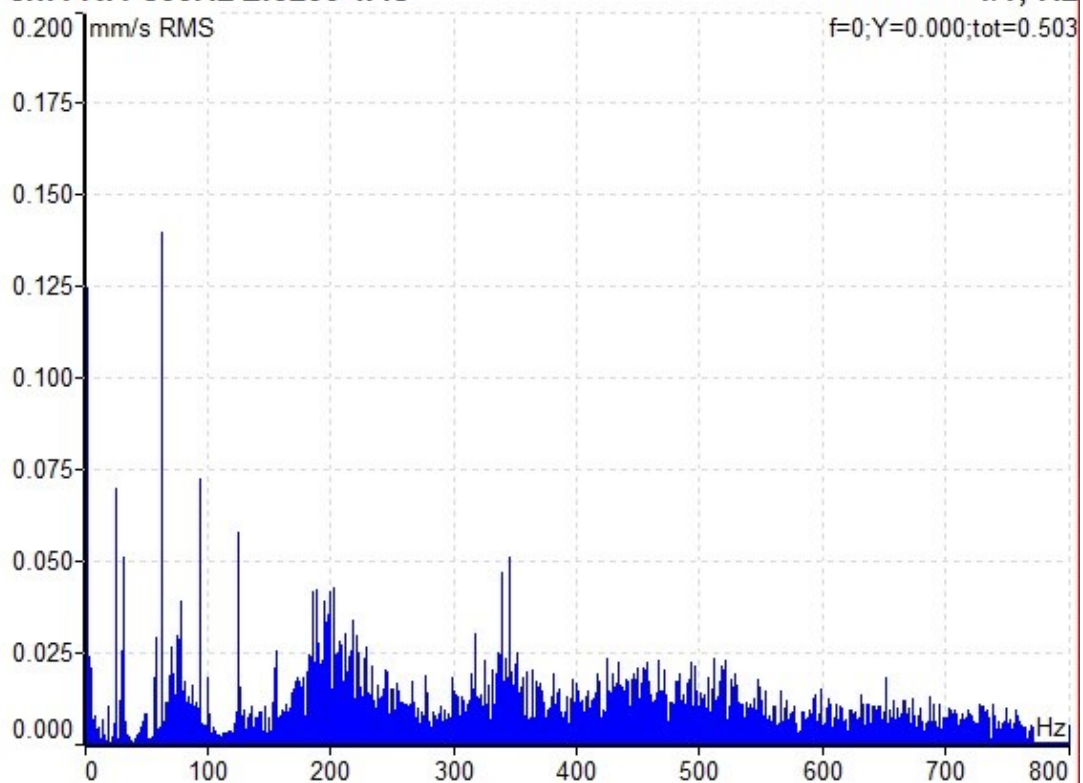
Obr. č. 6.3 – Frekvenční spektrum zrychlení L2 - vertikál

22 time ch:1 B:500-25600Hz NS:65536 T:1s**1/1;-Hz**

Obr. č. 6.4 – Časový záznam zrychlení L2 – vertikál

19 g-env spec ch:1 R:1600Hz L:3200 T:2s**1/1;-Hz**

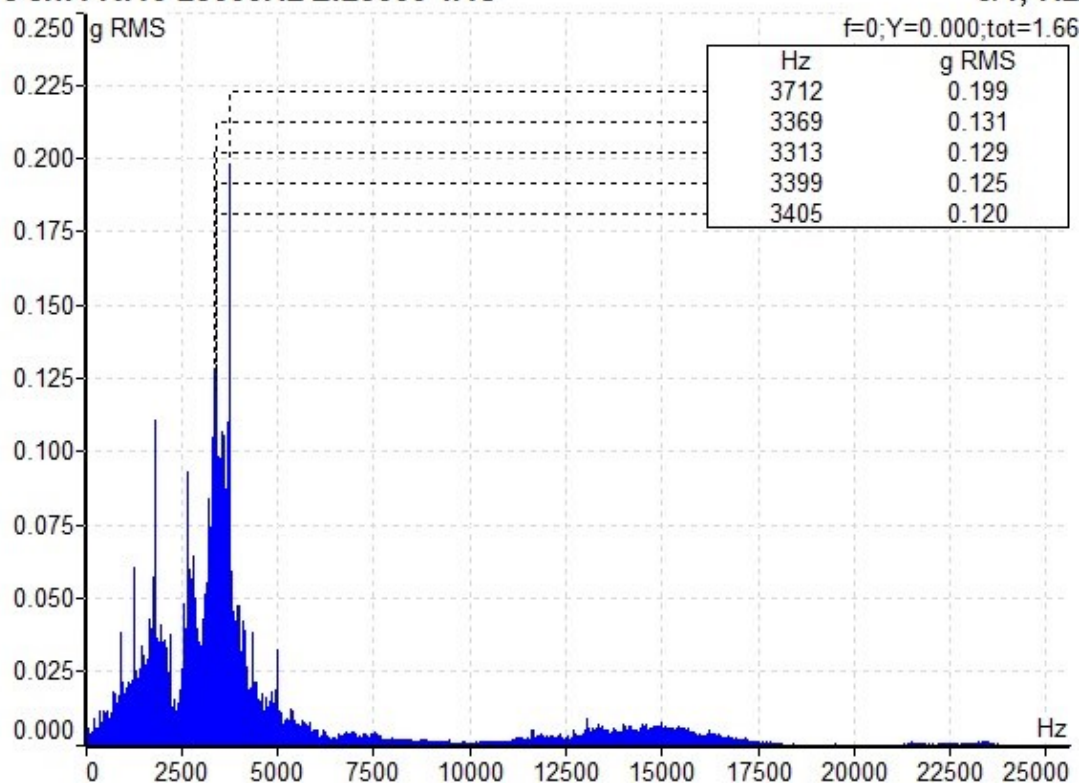
Obr. č. 6.5 – Frekvenční spektrum obálky L2 – vertikál

7 spec ch:1 R:1-800Hz L:3200 T:4s**1/1;-Hz**

Obr. č. 6.6 – Frekvenční spektrum rychlosti L8 – vertikál

28 spec ch:1 R:10-25600Hz L:25600 T:1s

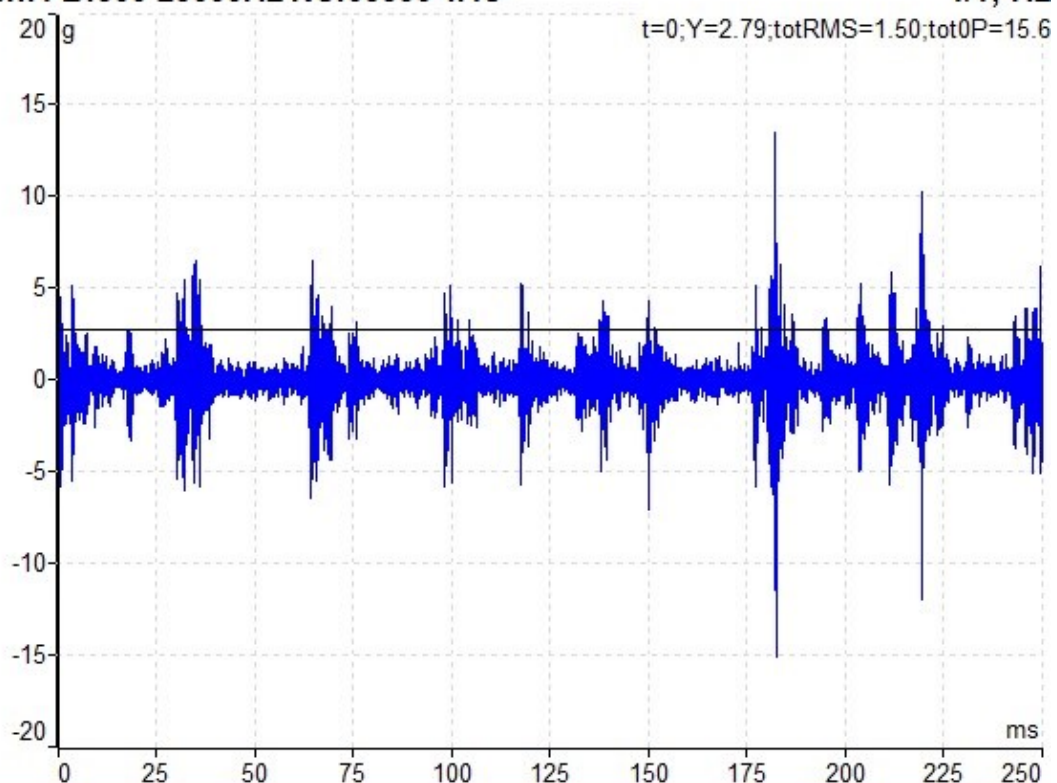
3/4;-Hz



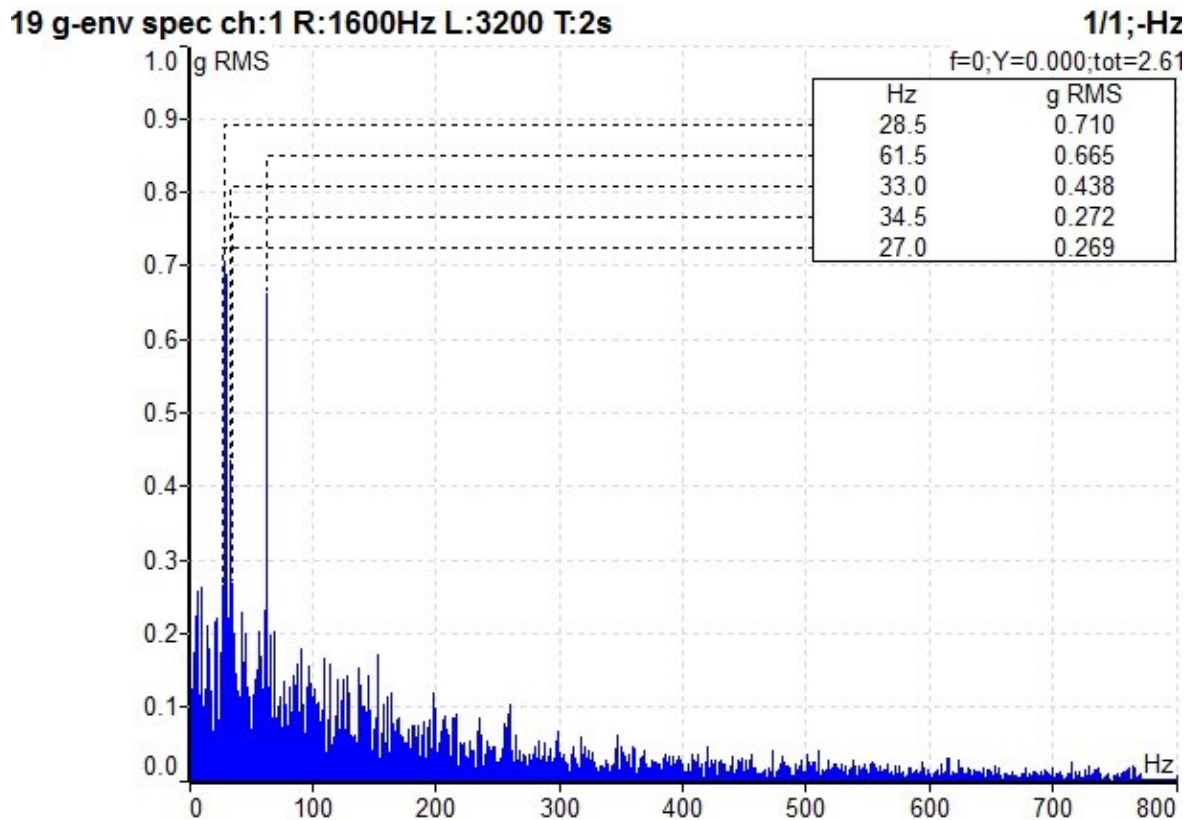
Obr. č. 6.7 – Frekvenční spektrum zrychlení L8 – vertikál

22 time ch:1 B:500-25600Hz NS:65536 T:1s

1/1;-Hz



Obr. č. 6.8 – Časový záznam zrychlení L8 – vertikál



Obr. č. 6.9 – Frekvenční spektrum obálky L8 – vertikál

6.2 Termodiagnostika



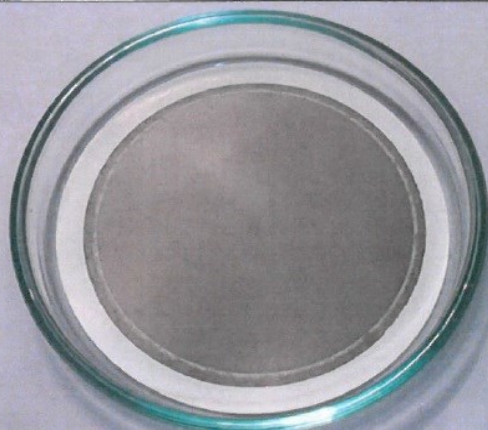
Obr. č. 6.10 – Termosnímek elektrického rozvaděče FGS 50

Maximální teplota činí 80°C. Jedná se usměrňovač napájení. U toho usměrňovače by neměla teplota přerůst 150°C. Teplota je cca. na 53% maximální teploty.

6.3 Tribodiagnostika

Tab. č. 6.3 – výsledky tribologického rozboru

Strojní zařízení			PARAMO OL-J32				
FGS 50			Číslo		2		
			Typ oleje		Převodový		
			Název		Paramo OL-J32		
			Specifikace DIN		DIN 51 502 -C		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace ISO		ISO VG 32		
Název	Konzolová frézka	Specifikace SAE					
Typ-číslo stroje	Obráběcí stroj	Jiná specifikace		ISO 6743/2 - FC			
výrobní číslo		Místo odběru		KADAMO a.s.			
Strojní uzel		Datum převzetí		9.2.2016			
Množství provozní náplně		Datum vypracování		3.3.2016			
Doba provozu od posl. výměny							
Doba provozu celkem							
V průběhu provozu doplněno							
VÝSLEDKY ZKOUŠEK							
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota	
			mín.	výstr.	max.		
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	28,8		35,2	31,12	
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,192	
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,2	0,00595	
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		100	150	30,8	
Kód čistoty		ČSN ISO 4406					
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota	
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		150	250	65,4	
obsah Cu				80	82,7		
obsah Cr			12,5	15	8,5		
obsah Sn				30	<3		
obsah Si				60	27		
Aditiva, degradace						nový	hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				2540	
obsah P						305,2	
obsah Mg						<101	
obsah Mo						<1	
obsah Zn						223,9	
obsah Ca						180	



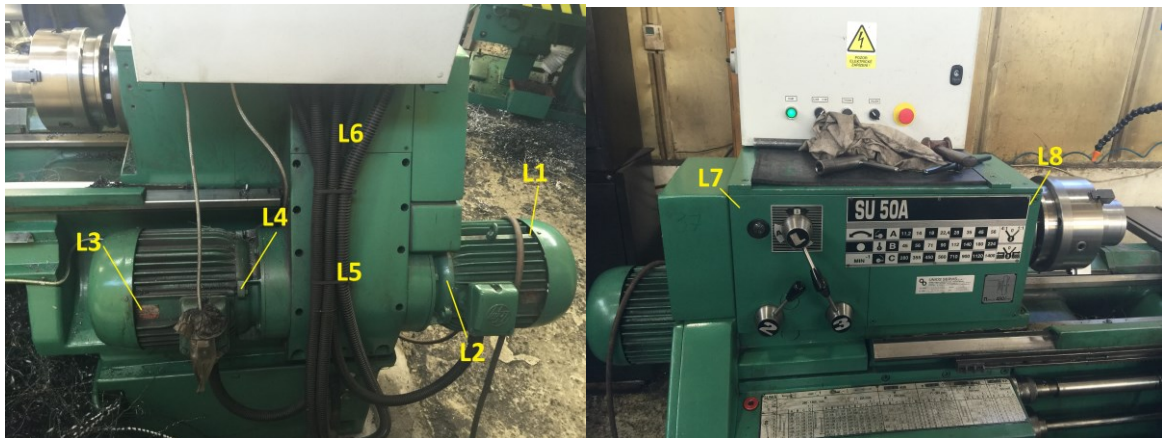
navážka
25 ml

Dle naměřených hodnot je patrné zvýšený obsah mědi. Tato hodnota poukazuje na opotřebení některého z ložisek. Pravděpodobné místa jsou znázorněny v kapitole 6.1 – vibrodiagnostika. Ostatní hodnoty jsou v pořádku. Obsah vody je minimální. Nedochází k mísení s chladicí kapalinou.

7 Diagnostika soustruhu SU 50A / 1500

7.1 Vibrodiagnostika

Určení měřicích míst pro SU 50A:



Obr. č. 7.1 – Měřicí místa SU 50A

- L1 – Kontrola ložiska na konci prvního hlavního elektromotoru
- L2 – Kontrola ložiska na přírubě elektromotoru (vstup do převodové skříně)
- L3 - Kontrola ložiska na konci druhého hlavního elektromotoru
- L4 – Kontrola ložiska na přírubě elektromotoru (vstup do převodové skříně)
- L5 – Spodní část převodové skříně
- L6 – Horní část převodové skříně – přechod na vřeteník
- L7 – Levá strana převodové skříně vřeteníku
- L8 – Pravá strana převodové skříně vřeteníku

Tab. č. 7.1 - Výsledky měření efektivních hodnot rychlostí

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 10 - 1000Hz (V_{RMS})									
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	V	0,88	0,55	0,85	0,6	1,41	1,92	1,1	1,56
	H	1,25	1,22	0,94	1,1	0,54	0,68	2,21	2,35
	A	-	0,53	-	0,76	-	-	0,88	0,51

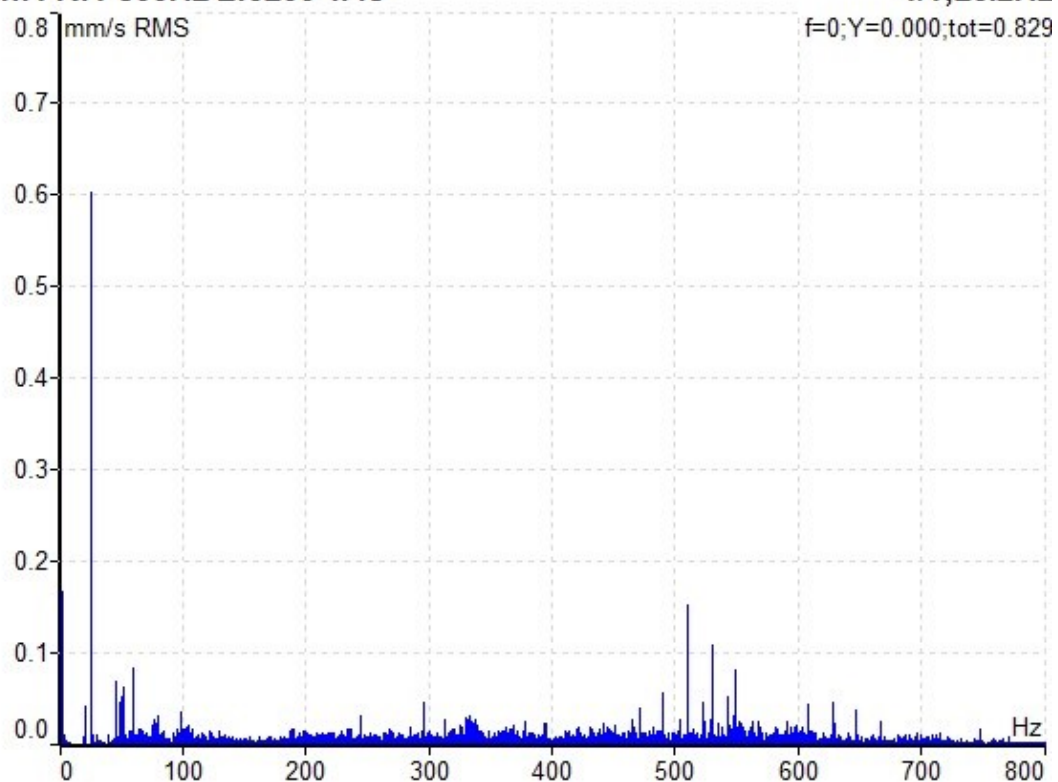
Tab. č. 7.2 - Výsledky měření efektivních hodnot zrychlení

Tabulka efektivních hodnot rychlostí v pásmu 500 - 25600Hz (a_{RMS})									
Měřicí místo		L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8
Veličina	Směr								
a_{RMS} [g]	V	0,66	0,59	0,73	0,54	1,77	2,7	1,65	1,03
	H	0,52	1,71	0,64	1,05	1,48	1,3	1,74	1,07
	A	-	1,75	-	1,1	-	-	1,95	1,34

Z tabulek je zřejmé, že místo L7 vykazuje velké hodnoty zrychlení, proto je mu dále věnována pozornost.

7 spec ch:1 R:1-800Hz L:3200 T:4s

1/1;25.2Hz

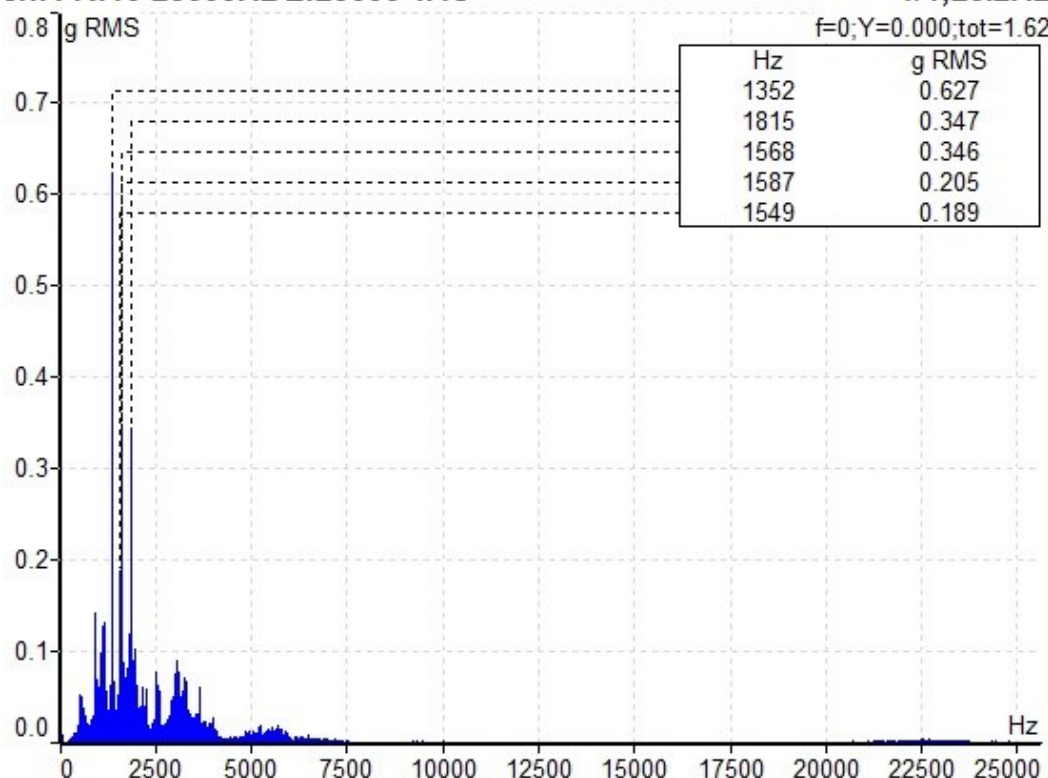


Obr. č. 7.2 – Frekvenční spektrum rychlosti L7 – vertikál

28 spec ch:1 R:10-25600Hz L:25600 T:1s

1/4;25.2Hz

f=0;Y=0.000;tot=1.62

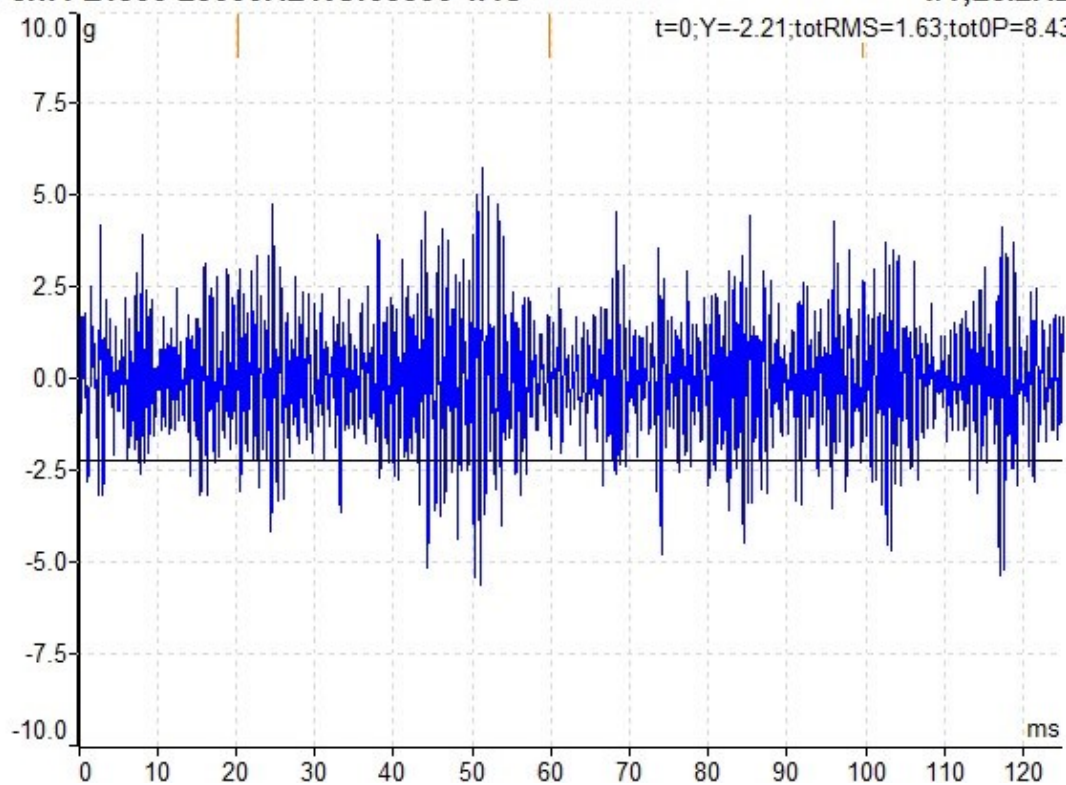


Obr. č. 7.3 – Frekvenční spektrum zrychlení L7 – vertikál

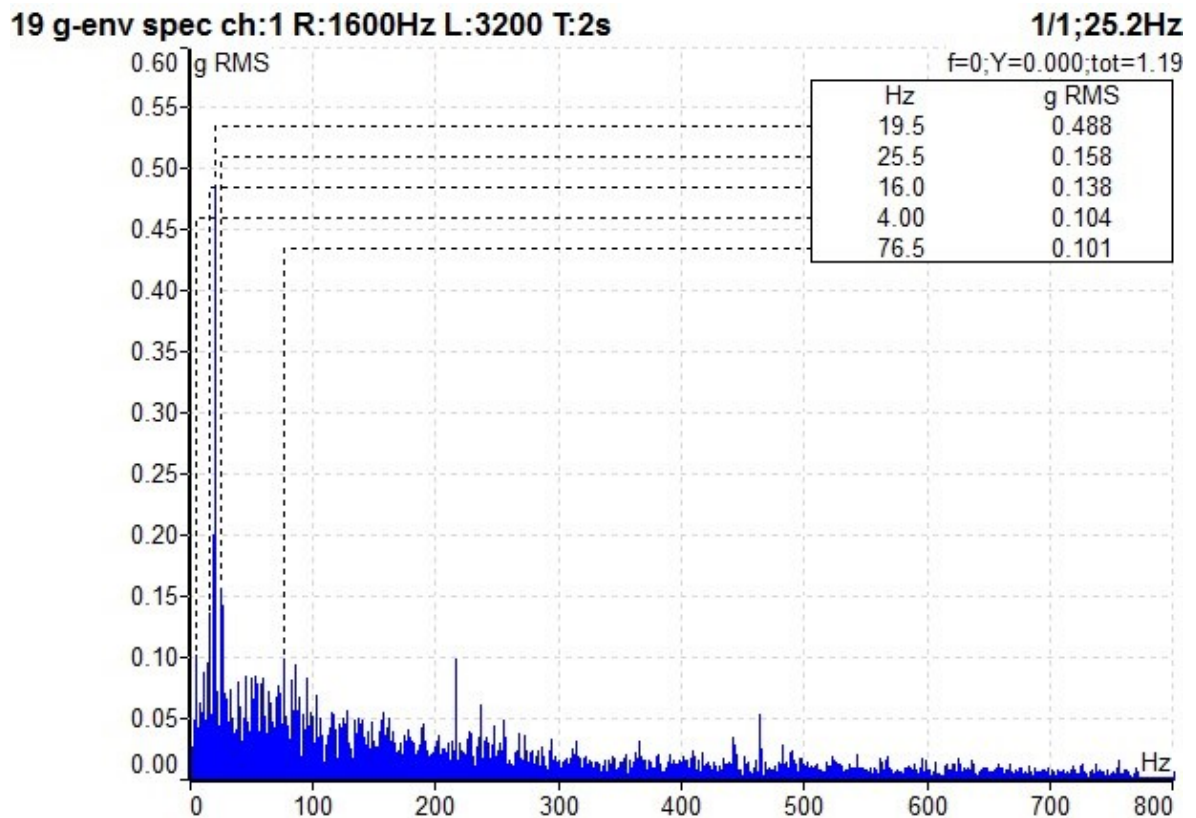
22 time ch:1 B:500-25600Hz NS:65536 T:1s

1/1;25.2Hz

t=0;Y=-2.21;totRMS=1.63;totOP=8.43



Obr. č. 7.4 – 4asový záznam zrychlení I7 – vertikál



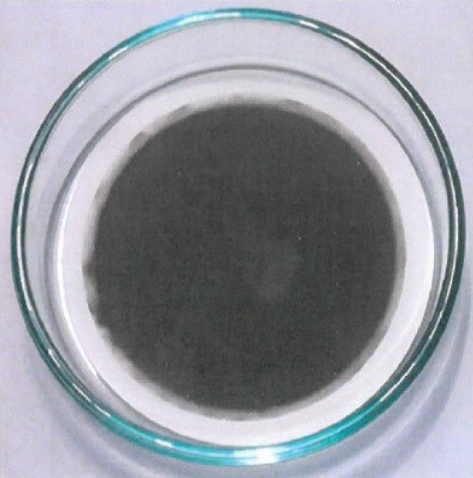
Obr. č. 7.5 – Frekvenční spektrum obálky L7 - vertikál

7.2 Tribodiagnostika

Dle tabulky č. 7.3 lze vidět značné znečištění oleje prostředím. Obsah křemíku převýšil dvojnásobek povolené hranice. Tato olejová náplň by se měla vyměnit. Zbylé hodnoty jsou v normě. Nepoukazují na nadměrné opotřebení ložisek ani převodových kol.

Tab. č. 7.3 – výsledky tribologického rozboru

Strojní zařízení			PARAMO OL-J32													
SU 50 A			Číslo	3												
			Typ oleje	Převodový												
			Název	Paramo OL-J32												
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN	DIN 51 502 -C												
Název	Soustruh		Specifikace ISO	ISO VG 32												
Typ-číslo stroje	Obráběcí stroj		Specifikace SAE													
výrobní číslo			Jiná specifikace	ISO 6743/2 - FC												
Strojní uzel																
Množství provozní náplně			Místo odběru	KADAMO a.s.												
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí	9.2.2016												
Doba provozu celkem			Dodal:	Bc. Štefek												
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování	3.3.2016												
VÝSLEDKY ZKOUŠEK																
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota										
			mín.	výstr.	max.											
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	28,8		35,2	30,91										
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1	1,3	0,389										
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937			0,2	0,0047										
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		100	150	62,8										
Kód čistoty		ČSN ISO 4406														
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota										
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		150	250	128,5										
obsah Cu					80	21,6										
obsah Cr				12,5	15	10,2										
obsah Sn					30	<3										
obsah Si					60	137,6										
Aditiva, degradace				nový		hodnota										
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				8168										
obsah P						459,2										
obsah Mg						<101										
obsah Mo						<1										
obsah Zn						358,4										
obsah Ca						16,3										



navážka
25 ml

8 Závěr

Pro kontrolu obráběcích strojů bylo nejprve využito tribodiagnostiky. Toto měření jasně ukázalo, ve kterých strojích jsou problémy s ložisky či nečistoty z okolí. Následně jsem aplikoval vibrodiagnostiku, kde jsem určil správná měřící místa a následně analyzoval. V průběhu měření mechanického chvění byly pořízeny IR termosnímkami, které ukázaly obraz o provozních teplotách strojů. Všechny tyto metody daly jasný obraz o celkovém stavu obráběcích strojů.

Z výsledku měření vyplývá, že horizontální vyvrtávačka má všechny rotující části v pořádku, avšak z rozboru převodového oleje se ukázalo, že je zde nadměrné opotřebení ložiska. Ložisko se nachází v pohyblivém stole. V minulosti bylo měněno a stroj byl pravděpodobně opakovaně přetížen. Doporučuji zkontrolovat ložisko a vyměnit převodový olej, ve kterém se nachází již značné stopy prvků mědi, chromu a železa, díky čemuž to bude mít za následek abrazivní opotřebení všech součástí.

Konzolová frézka má značné mechanické chvění a to především prostoru hlavního hnacího elektromotoru a vřeteníku. Rozbor oleje ukázal značně zvýšený obsah mědi, který poukazuje na přídíraní klece ložiska. Následný rozbor frekvenčních spekter a poslech audio záznamu toto podezření potvrdil. Doporučuji zkontrolovat ložisko hlavního elektromotoru v měřícím místě L2. Dále doporučuji rozdělat vřeteník a zkontrolovat mazání ložisek a převodů vřeteníku v místech L7 a L8.

Rozbor oleje v soustruhu ukázal pouze zvýšený obsah křemíku. Křemík je znakem značného znečištění oleje okolím. Největší mechanické chvění bylo naměřeno na převodové skříni vřeteníku. Analýza frekvenčních spekter ukázala nevývahu vřetena v horizontálním směru. Tuto nevývahu může mít za následek vůle mezi hřídelem a ložiskem či ložiskem a pouzdrem. Doporučuji vyměnit značně znečištěný převodový olej a zkontrolovat vůle v oblasti vřeteníku.

Měření na těchto strojích bylo provedeno poprvé. Nejsem tedy schopen s přesností určit dobu, kdy závady odstaví stroj. Měření bych doporučil zopakovat ještě minimálně čtyřikrát. Díky tomuto trendu by se dal s větší jistotou určit čas do poruchy. Doporučuji zkontrolovat, opravit popřípadě vyměnit vadné části a provést nové měření.

9 Seznam použité literatury

- [1] KREIDL, Marcel. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.
- [2] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [3] ŠAFR, E. *Tribotechnika*. SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1984. 300 s. 04-243-84.
- [4] LABUDA, Jiří. *Tribodiagnostika jako prostředek preventivní údržby*. Diplomová práce na Fakultě strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, Kategra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí: Hrabec, L. Ostrava 2014. 56 s
- [5] MIKULA, Martin. *Termodiagnostika – dotykové a bezdotykové měření teploty*. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství VUT – Brno, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí: Hammer, M. Brno 2014. 74 s
- [6] Návod k obsluze - horizontální vyvrtávačka W 100 A – TOS Kuřim
- [7] Návod k obsluze – konzolová frézka FGS50 – TOS Kuřim
- [8] Návod k obsluze – soustruh SU 50 A/1500 – TOS Kuřim
- [9] Digitální odměřovací systém ARBAH. <http://www.top-maschinen.de/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.top-maschinen.de/metallbearbeitung/zubehoer-maschinen/positionsanzeigen/k-c-digitalanzeigen/positionsanzeige-arbah.html>
- [10] TRIBODIAGNOSTIKA pro výrobní stroje a zařízení <http://www.diagnostikastroju.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.diagnostikastroju.cz/tribodiagnostika-vyrobní-stroje.php>
- [11] Viskozita kapalin. <https://cs.wikipedia.org>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Viskozita>

- [12] Měření kinematické a dynamické viskozity kapalin. <http://ufmi.ft.utb.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_2/F2_lab_02.pdf
- [13] Coulometr 756 a 831. <http://www.metrohm.com/cs-cz>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.metrohm.com/cs-cz/produkty/karl-fischer-titrace/kf-titrino-coulometers/>
- [14] Kyselost a alkalita olejů. <https://www.oleje.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju—Kyselost-a-alkalita-oleju>
- [15] Provozní spolehlivost strojů a čistota oleje. <http://cmms.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://cmms.cz/mazani/206-provozni-spolehlivost-stroju-a-cistota-oleje.html>
- [16] *Návod k obsluze – Přístroj PCM*. Ostrava: , 2008.
- [17] Atomová absorpční spektrometrie. <https://www.natur.cuni.cz/fakulta>. [online]. [cit. 2016-5-05]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geologie/laboratore/laboratore-a-metody/laborator-plamenove-atomove-absorpcni-spektrometrie-faas>
- [18] Atomová absorpční spektrometrie v diagnostice olejových transformátorů. <http://ketsrv.fel.zcu.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://ketsrv.fel.zcu.cz/diagnostika/konference/Sbornik/Sekce1/103.pdf>
- [19] Agilent 240FS/GTA120 . <http://hpst.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://hpst.cz/analyticka-chemie/aas-atomove-absorpcni-spektrometry/agilent-240fsgta120-plamenkyveta>
- [20] Zpravodaj pro měření a regulaci. <http://www.omegaeng.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_1.pdf
- [21] IR termokamery. <http://www.conrad.cz/>. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/termovizni-pristroje-dostupne-pro-kazdeho.t166>
- [22] Návod k obsluze – Adash 4400 VA4Pro. http://www.adash.cz/index_cz.php. [online]. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: http://www.adash.cz/doc/a4400/A4400_man_cz.pdf

[23] Atomová emisní spektrometrie. <http://fzp.ujep.cz/>. [online]. 5.5.2016 [cit. 2016-05-05].
Dostupné z:http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/1IAME/2%20Doplněk%20AES.pdf

10 Seznam příloh

Příloha č.1	Schéma mazání soustruhu SU 50 A
Příloha č.2	Schéma mazání konzolové frézky FGS 50
Příloha č.3	CD s diplomovou prací